供中医、针灸推拿专业用

新世纪全国高等中医药院校创新教材

XIN SHI JI QUAN GUO GAO DENG ZHONG YI YAO YUAN XIAO CHUANG XIN JIAO CAI

神经解剖学

主　编　白丽敏　姜国华

全国百佳图书出版单位

中国中医药出版社

责任编辑 包艳燕
文字编辑 王 爽
封面设计 谢 璇

普通高等教育"十一五"国家级规划教材

新世纪全国高等中医药院校创新教材

* 中医文献学
中医临床基础学
* 中医内科急症学
* 中医临床护理学
中医临床概论
中医食疗学
中医药膳学
* 中医统计诊断
中医医院管理学
针刀医学
杵针学
* 解剖生理学
神经解剖学
医学免疫学与微生物学
* 人体形态科学
* 细胞生物学
神经系统疾病定位诊断学
西医诊断学基础
* 医学分子生物学
医学遗传学
病原生物学
中西医结合康复医学
人体机能学
生命科学基础
应用药理学
药事管理学
卫生管理学
卫生法学概论
中药成分分析
中药材鉴定学
* 中药材加工学
中药调剂与养护学
中药药效质量学
中药拉丁语
针灸处方学
▲ 中医气功学（英汉双语教材）
* 微生物学
药用植物栽培学
* 中医临床技能实训
* 实用中医信息学
* 中西医学比较概论
* 神经定位诊断学
* 中医运气学
* 中医肿瘤学
* 中医骨伤基础学
* 中药资源学
* 中医学概论
* 中医内科学
* 中医儿科学
* 中医文献发展史
* 中医药信息工程学
* 医学信息学
* 中国古代思想史
* 医药信息数据库设计与应用
* 中医药文化基础
* 中药化学成分波谱学
* 药学史
* 中医学基础
* 推拿学
* 中药炮制学
人体解剖学（英文教材）
中医内科学（英文教材）
方剂学
中医基础理论（英文教材）
生理学实验指导
病原生物学
病原生物学实验指导
药用植物学实验指导
分析化学实验
有机化学实验
无机化学实验
人体机能学实验指导
中医基础学科实验教程
生命科学基础实验指导
* 组织细胞分子学实验原理与方法
药理学实验手册
外感病误治分析
实验中医学
中医诊断学
药用辅料学
分子生药学
康复护理学
▲ 中医皮肤性病学
▲ 中医儿科学
实用临床中成药学
医药市场营销学
刮痧疗法

* 为普通高等教育"十一五"国家级规划教材
▲ 为北京市高等教育精品教材立项项目

上架建议 医药卫生：医药高等教材

ISBN 978-7-5132-0369-2

9 787513 203692 >

定价：23.00元

新世纪全国高等中医药院校创新教材

神经解剖学

（供中医、针灸推拿专业用）

主　编　白丽敏（北京中医药大学）
　　　　姜国华（黑龙江中医药大学）
副主编　孙红梅（北京中医药大学）
　　　　张力华（成都中医药大学）

中国中医药出版社
·北　京·

图书在版编目(CIP)数据

神经解剖学/白丽敏主编. —北京：中国中医药出版社，2011.4
新世纪全国高等中医药院校创新教材
ISBN 978-7-5132-0369-2

Ⅰ.①神… Ⅱ.①白… Ⅲ.①神经系统-人体解剖学-医学院校-教材 Ⅳ.①R322.8

中国版本图书馆CIP数据核字（2011）第027995号

中国中医药出版社出版
北京市朝阳区北三环东路28号易亨大厦16层
邮政编码 100013
传真 010 64405750
北京市燕鑫印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 850×1168 1/16 印张 15.25 字数 355 千字
2011年4月第1版 2011年4月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5132-0369-2
*
定价 23.00 元
网址 www.cptcm.com

社长热线 010 64405720
读者服务部电话 010 64065415 010 64065413
书店网址 csln.net/qksd/

新世纪全国高等中医药院校创新教材

《神经解剖学》编委会

主　编　白丽敏（北京中医药大学）

　　　　　姜国华（黑龙江中医药大学）

副主编　孙红梅（北京中医药大学）

　　　　　张力华（成都中医药大学）

编　委（按姓氏笔画排列）

　　　　　王野成（长春中医药大学）

　　　　　申国明（安徽中医学院）

　　　　　关建军（陕西中医学院）

　　　　　杨茂有（长春中医药大学）

　　　　　李　平（天津中医药大学）

　　　　　李新华（湖南中医药大学）

　　　　　李德伟（北京中医药大学）

　　　　　宋世安（天津中医药大学）

　　　　　张作涛（贵州中医学院）

　　　　　张连洪（辽宁中医药大学）

　　　　　陈　跃（福建中医药大学）

　　　　　邵水金（上海中医药大学）

　　　　　郃浩清（南京中医药大学）

　　　　　聂绪发（湖北中医药大学）

　　　　　梁明康（广西中医学院）

　　　　　游言文（河南中医学院）

　　　　　熊艾君（湖南中医药大学）

主　审　严振国

修订说明

在揭开人脑奥秘长河中发展起来的神经生物学已成为21世纪的前沿科学。神经解剖学是神经生物学的重要组成部分，是神经生理、神经化学、神经药理、神经免疫、神经病理及临床神经精神病学的基础。在神经生物学的发展过程中神经解剖学起到了重要作用。但由于种种原因的限制，目前中医药院校《正常人体解剖学》教材的神经部分的内容远远不能满足七年制和研究生教学和科研的需要，为此我们编写组参考了国内、外有关资料，编写了这本《神经解剖学》。

本书在编写过程中力求做到系统性、科学性、适用性及先进性。全书共约30万字，附插图150余幅，内容简明扼要，重点突出，既适合中医药院校七年制、研究生的教学和科研需要，也适合广大神经科学工作者、临床医生及医学院校的高年级学生使用。

本书在介绍神经解剖学基础知识的同时兼顾临床；在介绍传统的知识的同时增加了近年来神经科学的新发展。为了拓展知识面，在介绍形态学内容的同时也介绍了生理、生化等内容。为了便于查找和学习方便，书末附有英文名词对照。

本书自2003年第一次出版后受到了广大师生的欢迎，也得到了同行们的建议和要求。本次修订我们增加、置换了一部分插图；除在神经细胞部分增加“神经末梢”内容外，在部分章节增加了神经系统损伤后出现的症状等内容。

由于本书的参编人员较多，编写时间、水平有限，书中难免存在这样或那样的不足或错误之处，恳请同行和读者提出批评指正。

《神经解剖学》编委会

2011年2月

目　录

第一章　概述

一、神经系统的基本功能

神经系统（nervous system）是人体结构和功能最复杂的系统，由脑、脊髓及与脑和脊髓相连的脑神经和脊神经所组成，在机体各系统中起主导作用。其基本功能如下：

1. 调节和控制各系统、各器官的功能活动，使机体成为一个完整统一的整体。例如，当人在运动时，随着骨骼肌的收缩，出现呼吸加深加快、心跳加速等一系列变化，这些都是在神经系统的调控下完成的。

2. 通过调整机体的功能活动，维持机体与外环境间的统一，使机体适应不断变化的外界环境。例如，天气寒冷时，通过神经调节使周围小血管收缩，减少散热，使体温维持在正常水平。

3. 人类在长期的进化发展过程中，神经系统，特别是大脑皮质得到了高度发展，产生了语言和思维，不仅能被动地适应外界环境的变化，而且能主动地认识世界和改造世界，这是人类神经系统功能最主要的方面。

二、神经系统的区分

神经系统无论在形态上还是在功能上都是一个不可分割的整体，为了学习方便，可以从不同的角度将其区分。

（一）根据位置和功能区分

根据位置和功能，神经系统可分为中枢神经系统和周围神经系统（图 1－1）。

1. 中枢神经系统（central nervous system）　包括脑和脊髓。脑位于颅腔内，脊髓位于椎管内，两者在枕骨大孔处相连。中枢神经系统有控制和调节整个机体活动的功能。

2. 周围神经系统（peripheral nervous system）　是指与脑相连的 12 对脑神经和与脊髓相连的 31 对脊神经。

（二）根据分布对象区分

根据周围分布的对象，神经系统可分为躯体神经系统和内脏神经系统（自主神经系统）。它们的中枢部在脑和脊髓内，周围部分别称为躯体神经和内脏神经。

1. 躯体神经（somatic nerves）　分布于皮肤和运动系统（骨、关节和骨骼肌），管理它们的感觉及运动。

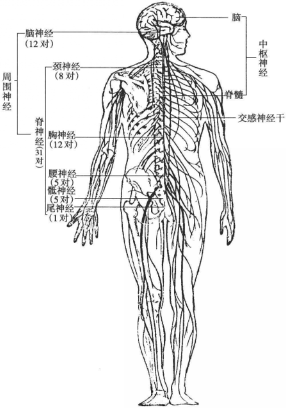


图 1－1　人的神经系统

2. 内脏神经（visceral nerves）　分布到内脏、心血管、平滑肌和腺体。管理它们的感觉及运动。

在周围神经中，感觉神经的冲动是自感受器传向中枢，故又称传入神经；运动神经的冲动是自中枢传向周围，故又称传出神经；内脏运动神经根据其功能不同又分为交感神经和副交感神经。

神经系统的区分可总结如下：

按位置和功能：

- 神经系统
  - 中枢神经系统
    - 脑
    - 脊髓
  - 周围神经系统
    - 脑神经
    - 脊神经

按分布对象：

- 神经系统
  - 躯体神经系统
    - 中枢部
      - 脑
      - 脊髓
    - 周围部
      - 躯体感觉神经
      - 躯体运动神经
  - 内脏神经系统
    - 中枢部
      - 脑
      - 脊髓
    - 周围部
      - 内脏感觉神经
      - 内脏运动神经
        - 交感神经
        - 副交感神经

三、神经系统的活动方式

神经系统的功能活动十分复杂，但基本的活动方式是反射（reflex）。所谓反射是神经系统对内、外环境的刺激所做出的反应。反射活动的形态基础是反射弧（reflex arc）。最简单的反射弧由感觉和运动两个神经元组成，如膝跳反射。而一般的反射弧都在感觉与运动神经元之间存在不同数目的联络神经元。一个反射弧涉及的联络神经元越多，引起的反射活动越复杂。无论反射弧多么复杂，都包括五个基本组成部分：感受器→传入神经→反射中枢→传出神经→效应器（图 1－2）。反射弧中任何一环发生故障，反射活动即减弱或消失。临床上常通过一些反射检查来协助诊断神经系统疾病。

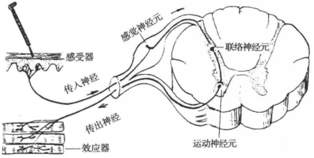


图 1－2　反射弧

反射可从不同的角度分类。根据其形成过程分为条件反射和非条件反射；根据参加反射活动的器官，分为浅反射、深反射和内脏反射；根据生理或在患某些疾病时出现的反射分为生理反射和病理反射。下面简述常见的反射：

（一）根据形成过程

1. 非条件反射　非条件反射是先天遗传，生来就有的，是较低级的神经活动。

2. 条件反射　条件反射是后天获得的，是在非条件反射的基础上建立起来的，是大脑皮质特有的高级神经活动。条件反射一般是在非条件反射之前或同时，给以无关刺激，如此

反复多次，使无关刺激成为条件刺激，以后只给条件刺激，而无非条件刺激，也能出现与非条件刺激相似的反应。

（二）根据参加反射活动的器官

1. 浅反射 刺激皮肤、角膜、黏膜引起骨骼肌收缩的反射，称为浅反射。常用的浅反射见表1-1。

表1-1 浅反射

反射名称	检查法	反应	传入神经	中枢	传出神经	效应器
角膜反射	用棉絮轻触角膜	闭眼睑	三叉神经的眼神经	三叉神经脑桥核、脊束核和面神经核	面神经	眼轮匝肌
咽反射	用压舌板轻触咽后壁	作呕和软腭上提	舌咽神经	孤束核 疑核	迷走神经	咽缩肌
腹壁反射	轻划腹壁皮肤	腹肌收缩	肋间神经和肋下神经	$T_7 \sim T_{12}$	肋间神经和肋下神经	腹肌
提睾反射	轻划股内侧皮肤	睾丸上提	闭孔神经	$L_{1\sim2}$	生殖股神经	提睾丸
肛门反射	轻划肛门附近皮肤	肛门收缩	肛尾神经	$S_{2\sim5}$	会阴神经	肛门外括约肌
足底反射	轻划足底皮肤	足趾跖屈	胫神经和坐骨神经	$S_{1\sim2}$	坐骨神经和胫神经	趾屈肌

浅反射减弱或消失表示反射弧的中断或抑制。

2. 深反射 刺激肌、肌腱、骨膜和关节的本体感受器而引起的反射，称为深反射。常用的深反射见表1-2。

表1-2 深反射

反射名称	检查法	反应	传入神经	中枢	传出神经	效应器
下颌反射	轻叩微张的下颌中部或两侧	下颌上提	下颌神经	三叉神经感觉核和运动核	下颌神经	咀嚼肌
肱二头肌反射	轻叩肱二头肌腱	屈肘	肌皮神经	$C_{5\sim6}$	肌皮神经	肱二头肌
肱三头肌反射	轻叩肱三头肌腱	伸肘	桡神经	$C_{6\sim8}$	桡神经	肱三头肌
腹肌反射	轻叩肋骨缘或腹肌附着处	腹肌收缩	肋间神经	$T_{6\sim12}$	肋间神经	腹肌
膝反射	轻叩髌韧带	膝关节伸直	股神经	$L_{2\sim4}$	股神经	股四头肌
跟腱反射	轻叩跟腱	足跖屈	坐骨神经	$S_{1\sim2}$	坐骨神经	小腿三头肌

深反射减弱或消失表示反射弧的中断或抑制。深反射亢进见于上运动神经元损伤，亦可见于甲状腺功能亢进及神经症。

3. 内脏反射 内脏反射包括躯体-内脏反射、内脏-内脏反射和躯体-内脏反射。常

见的内脏反射见表 1－3。

表 1－3　　内脏反射

反射名称	反应	传入神经	中枢	传出神经	效应器
呼吸反射	节律性呼吸	迷走神经下神经节感觉细胞周围突	孤束核和颈 3～5 节段前角细胞	膈神经、肋间神经	膈肌和肋间肌
呕吐反射	呕吐	脊神经节细胞发出的内脏传入纤维和迷走神经下神经节发出的传入纤维	脊髓、孤束核、网状结构、延髓呕吐中枢和迷走神经背核	颈、胸段脊神经，膈神经，肋间神经，交感低位中枢下胸段发出的节前纤维及换元后的节后纤维	膈肌、肋间肌、胃肌和幽门括约肌
咳嗽反射	咳嗽	迷走神经及分支喉上神经	孤束核、颈胸段脊髓前角	颈、胸段脊神经，膈神经	膈肌、肋间肌和腹肌
腭垂反射	腭垂上提	舌咽神经咽支	疑核	迷走神经	腭垂肌

（三）病理反射

在正常情况下不出现，当中枢神经损害后锥体束失去对脑干或脊髓的抑制作用则出现异常的反射，称病理反射。但在 1 岁半以下的婴儿则是正常的原始保护反射，以后随着锥体束的发育成熟，这些反射被锥体束抑制，当锥体束受损，抑制作用解除，这类反射又出现。如：巴彬斯基（Babinski）征是最重要的锥体束受损害的体征，检查时是用钝针在足底自后向前轻划足底外侧缘的皮肤，其反应为拇趾背屈和其他 4 趾呈扇形分开（图 1－3）；霍夫曼（Hoffmann）征，检查者用左手握住患者的前臂，右手食指和中指夹住患者的中指，并使中指和手腕轻度向背侧伸，用拇指轻弹中指指甲，可引起拇指和食指屈曲运动（图 1－4）。此外常用的病理反射还有 Chaddock 征、Gordon 征、Oppenheim 征等。

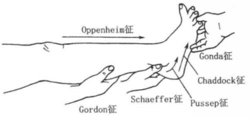


图 1－3　下肢各种病理反射检查法



图 1－4　霍夫曼征反射检查法

四、神经系统的常用术语

神经系统结构十分复杂，根据神经元胞体和突起在中枢和周围神经系统的分布，使用不同的术语表示。

1. 灰质（gray matter）　在中枢内，神经元胞体及其树突的集聚部位因新鲜标本色泽

暗灰，称灰质。分布在大、小脑表面的灰质，又称为皮质（cortex）。

2. 白质（white matter） 在中枢内，神经纤维聚集的部位，因新鲜标本呈白色，而称白质。

3. 神经核（nucleus） 在中枢内，皮质以外，功能相同的神经元胞体聚集成细胞团或柱，称为神经核。

4. 神经节（ganglion） 在周围部，神经元胞体集聚处称神经节。

5. 纤维束（fasciculus） 中枢神经系统中，凡起止、行程和功能基本相同的神经元突起集合在一起称为纤维束，又称传导束。

6. 神经（nerve） 神经元的突起在周围部集聚在一起称为神经，外包被膜（图1－5），分布于全身各器官及组织。每条神经或神经干的外周都有结缔组织、血管和淋巴管组成的神经外膜（epineurium）包裹，这些组成神经外膜的成分伸入神经内，将其分成大小不等的神经束，包裹每个神经束的结缔组织成分称神经束膜（perineurium）；神经束膜又伸入每条神经纤维之间，并包裹每条神经纤维，称之为神经内膜（endoneurium）。

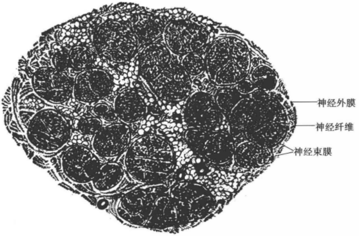


图1－5 周围神经的横切面

第二章

神经组织

神经系统主要由神经组织构成，神经组织由神经细胞和神经胶质组成。

第一节　神经细胞

神经细胞（nerve cell）是一种高度分化的特殊细胞，形状大小各异，是神经系统的结构和功能的基本单位，故又称神经元（neuron）。神经元具有感受刺激和传导神经冲动的功能，有些神经元还有分泌功能。

一、神经元的构造

虽然神经元的大小不一、形态各异，但每个神经元都由胞体和突起两部分构成（图2-1）。

（一）胞体

神经元的胞体（soma）位于中枢神经系统的灰质和周围神经的神经节内，是神经元的代谢和营养中心。其形态有圆形、梭形和锥形等；其大小不一，直径小者3～15μm不等，大的可达100μm以上。神经元胞体的超微结构与其他细胞大致相似，有细胞膜、细胞核、细胞质和细胞器（图2-2）。

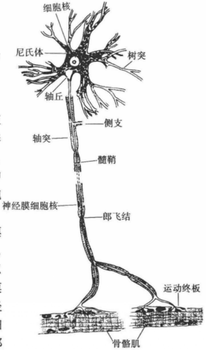


图2-1　神经元基本构造

1. 神经膜（cell membrane）　又称神经元膜（neuronal membrane），同其他细胞膜一样作为屏障，紧密包裹着神经元内的细胞质，也是由球形蛋白以各种镶嵌形式与脂质双分子层相结合的液态镶嵌模型膜。神经细胞通过神经元膜进行信息传递，神经冲动的发生、扩布，物质运输，代谢调控，以及细胞外物质识别等多种功能。因此神经元膜在某些部位有些特化，如在突触部位增厚形成突触前膜或突触后膜。

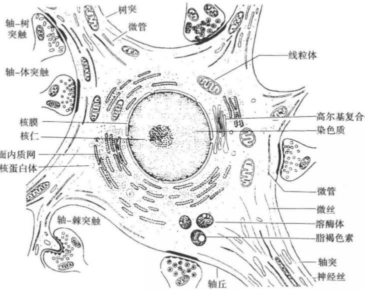


图2-2 神经元的超微结构

2. 细胞核（nucleus） 神经元的细胞核呈圆形或卵圆形，一般较大，居于胞体的中心。大多数神经元只有一个细胞核，但有两个核的神经元也不罕见。光镜下染色浅淡，染色质均一地分布于核内。其由核膜、核仁及染色质等构成。在电镜下，核膜（nuclear membrane）由两层膜（即外膜和内膜）组成，膜间有腔隙。两层膜与内质网池腔相连，因此，可以认为核膜是内质网的一部分。核膜上有许多小孔——核孔，是核与胞浆之间通讯和物质运输的通道。神经元的染色质（chromatin）主要为常染色质（euchromatin），为稀疏分布的纤维细丝，丝的直径约20nm。染色质的主要成分为含遗传物质的DNA及蛋白和酶类。核仁（nucleoli）一般1个，有时2个或多个。神经元的核仁也是由纤维部和颗粒部两部分组成，两部彼此紧密混杂，在电子致密成分之间出现透明区，使核仁出现空泡样结构。核仁的主要成分为rRNA，还有少量的DNA、蛋白及酶类。

细胞核是遗传信息储存、复制、表达的主要场所，又是将DNA转录成RNA的部位。染色质直接合成mRNA，核仁主要合成rRNA，形成核糖体，它们经核孔至胞浆，由这些RNA分子再转录成各种蛋白。核在有丝分裂中复制DNA。神经元在发育期具有有丝分裂活动，但定向分化一旦开始，有丝分裂的潜力就丧失，细胞不再回复至可诱发至有丝分裂的状态，绝大多数哺乳动物出生后或出生不久神经元的有丝分裂活动便停止。

3. 细胞质（cytoplasm） 或称核周质（perikayon）。神经元的核周质除含有一般细胞所具有的细胞器外，还有其特殊的结构如尼氏体等。

（1）核糖体（ribosome）　是胞浆内的致密球状物，是由蛋白质和 rRNA 组成的复合体。神经细胞内核糖体非常丰富，远远超过神经胶质和其他非神经细胞。核糖体有的单个存在，有的几个像花瓣状聚集在一起，称为多聚核糖体（poly ribosome）。核糖体有的游离于胞浆，称为游离核糖体（free ribosome），也有的附于膜上，称附膜核糖体。核糖体是神经元内蛋白质合成的基地。

（2）粗面内质网（rough endoplasmic reticulum，or rough，ER）　是一种扁平的囊状或管状膜结构，膜表面附有核糖体。在有些神经元，粗面内质网可延伸至树突近端，甚至更远。粗面内质网的主要功能是合成蛋白质。

（3）尼氏体（Nissl body）　光镜下碱性染料（如美蓝、甲基胺蓝、硫堇或焦油紫）可将神经元内的嗜染质染成深蓝的颗粒或块状，称尼氏体。在电镜下，尼氏体是由大量平行排列的粗面内质网和其间游离的核糖体组成。尼氏体为神经元合成蛋白最活跃的部位，是结构蛋白和分泌蛋白的合成中心。当神经元受到损伤或轴突断裂时尼氏体分解或消失，这种现象称尼氏质溶解（chromatolysis）。如果受伤的神经元得到恢复时，尼氏体将会重新出现。

（4）滑面内质网（smooth endoplasmic reticulum）　神经细胞中的滑面内质网也很多，由不规则分支和融合的管或池组成。其不仅分布于神经元的胞体，还延伸到树突和轴突内。有的神经元的滑面内质网紧靠细胞膜下，形成较宽的扁平囊，称膜下池（hypolemmal cistern），可能与膜的离子调节运输有关。滑面内质网具有多种功能，其除运输蛋白质、合成脂质和胆固醇外，可调节细胞内物质（如钙）的浓度，还是膜发生的主要场所。

（5）高尔基复合体（Golgi complex）　神经元的高尔基复合体高度发达。光镜下银或锇酸染色，为一些弯曲的粗线或颗粒，围绕胞核，并深入到大树突内，但不进入到轴突内。电镜下高尔基复合体的结构是由 5 ~7 层平行排列的扁平囊及其周围的大小囊泡共同组成的复合体。神经递质和调质物的生成和释放与高尔基复合体有关。

（6）线粒体（mitochondrion）　线粒体几乎分布于整个神经元，包括细胞体、树突和轴突，甚至最小的突起分支和纤维末梢。线粒体的主要功能是为细胞活动提供能量，它是神经元氧化供能的中心。通过呼吸作用，将细胞摄取的物质氧化，并将氧化所产生的能量转变为化学能储存起来，以供细胞活动之用。多数神经元缺乏储存糖原的能力，其能量主要依赖于循环的葡萄糖供给，因此，人脑的血液供应被阻断几秒钟就会失去知觉。线粒体是动物细胞中除核以外唯一含有 DNA（即 mtDNA）的细胞器，而且含有蛋白质合成系统（mRNA、rRNA、tRNA 等），但仅有少数蛋白质在线粒体内合成，大多数线粒体蛋白质还是在核 DNA 上编码的。神经元内线粒体的另一重要功能是胞内钙的调节因素之一。线粒体有储存钙的功能，在胞内钙的调节中起重要作用。

（7）溶酶体（lysosome）　是细胞的消化系统，是一种囊泡状的结构。内含多种水解酶，可降解各种蛋白质、多肽及多种衰老的膜和细胞器。

一种称为家族性黑蒙性白痴病（Tay－Sachs 病）是溶酶体缺陷引起的。这是一种遗传的退行性病变，导致智力迟钝，神经系统功能紊乱。

神经元的另一个特点是脂褐素（lipofuscin）颗粒的出现，随年龄增长而增加。新生儿的

细胞不含脂褐素，约6岁时出现于神经节细胞，20岁后出现于大脑皮质，老年时可占据某些神经元胞体的大部分。这种颗粒实际上是含不消化的残余物的溶酶体。脂褐素由于大量出现在老年人的神经细胞内，故又称老年素。

（8）细胞骨架（cytoskeleton） 细胞骨架包括微管、神经细丝和微丝。

①微管（microtubule）：直径约20~30nm，为不分支的中空管状物。它们有规则地相隔排列。轴突内的微管比较稳定，但当轴突受到刺激如低温和解聚药物（秋水仙碱、长春新碱等）的干扰时，微管断解，轴突的快相运输被阻断。微管的功能是作为细胞的骨架结构维持细胞的形态，参与细胞内颗粒和细胞器的运动及细胞内物质运输。

②神经细丝（neurofilament）：直径约10nm，由厚约3nm的致密外层和明亮的中柱组成。神经细丝不是神经元独有的，它存在于所有真核细胞的胞体中，称为中间丝（intermediate filament）。在神经元内称神经细丝。神经细丝不分支，其大小介于微管和微丝之间。神经细丝多聚集于神经元树突的基部和轴丘，这两个部分使神经元在结构上比较稳固。神经细丝在光镜下称为神经原纤维（neurofibril），老年痴呆时出现神经原纤维缠结。神经细丝除起支持作用，与微管、微丝相连在细胞中传递信息，也可与微管、微丝一起参与细胞内物质的运输。

③微丝（microfilament）：直径约5~6nm，存在于整个神经元之中，但轴突内最多。微丝在神经元高度活动的部分（如轴突的生长锥和树突棘）占优势。微丝的功能除作为细胞骨架起支持作用外，主要完成细胞的运动。

（二）神经元的突起

神经元的突起可分为树突和轴突，其结构和功能有明显的区别。

1. 树突（dendrite） 有接受刺激和将冲动传入胞体的功能，是胞体的延伸部分，因此，细胞质所含的细胞器尼氏体、高尔基复合体、游离核糖体、微管、神经细丝都出现在树突内。随着树突分支，这些细胞器逐渐减少。在树突远端只有少量粗面内质网和游离核糖体。尼氏体出现于整个树突，但随着树突延伸和分支，尼氏颗粒变小，数量也逐渐减少。粗面内质网和游离核糖体始终贯穿于树突全长，而轴突内无粗面内质网和游离核糖体，因此，这是电镜下辨认树突和轴突的主要鉴别点。微管是树突中最明显的细胞器。一些神经元的树突有树突棘（dendritic spine），这些结构接受某些类型的突触传入。

2. 轴突（axon） 其功能是将冲动传出胞体，是神经元特有的结构，起自神经元的轴丘（axon hillock）。轴丘是神经元的锥形隆起。轴突表面光滑，分支较少，其分支从主干常呈直角发出，构成侧支（collateral branch）。轴突主干全长粗细基本一致。轴突的细胞膜称为轴膜（axolemma），细胞质称为轴浆（axoplasm），内含微管、神经细丝、线粒体、滑面内质网小池。但常缺乏核糖体，故轴突内不合成蛋白质。轴突及其所需的蛋白质和其他活性物质依赖于轴浆运输，由胞体获得。

表 2-1 树突和轴突的主要特点

树突	轴突
从胞体发出，一条或多条	发自轴丘，只有一条
表面常有侧棘或小突	表面光滑
有尼氏体	无尼氏体
微管显著	神经细丝显著
主要接受信息	主要传递神经冲动和神经信息

（三）神经纤维

神经纤维（nerver fiber）是指神经元较长的突起，一般主要由轴突（也包括长的树突）及其被膜组成。在中枢神经系统内它们集聚构成白质；在周围它们集合为神经，分布于全身各器官和组织。

1. 神经纤维的构造 每一条神经纤维由内向外依次为神经元的突起和被膜——髓鞘（myelin sheath）。中枢神经系统内的髓鞘由少突胶质细胞构成，周围神经系统的髓鞘则由雪旺细胞（Schwann）构成，对神经元的突起具有营养和保护作用。在电镜下可见，周围神经系统的轴突被雪旺细胞所包裹，每一个雪旺细胞只包裹一段轴突，形成一段髓鞘，成为一个结段，两个结段之间称结间段（internode）（图 2-3）。轴突除在近胞体一段及末端外，均被髓鞘所包裹，两结段相连处狭窄，称郎飞结（node of Ranvier），每一个结间段仅由一个由雪旺细胞构成，细胞核位于结间段中间。由于雪旺细胞包在轴突的外面，所以又称神经膜细胞，其外面还包一层基膜，雪旺细胞最外一层胞膜与基膜一起常称为神经膜。中枢神经系统的少突胶质细胞不形成神经膜，所以脑和脊髓的神经纤维没有神经膜。

无论在周围神经系统还是在中枢神经系统，髓鞘的化学成分都为类脂、蛋白质和水。类脂占 70% ~80%，其中最主要的是胆固醇、磷脂和糖磷脂；蛋白质中含有两种特殊的蛋白质，即髓鞘碱性蛋白和蛋白脂质蛋白。

神经元突起的粗细与髓鞘的厚度成正比。突起越粗，髓鞘也越厚。髓鞘犹如电线外面的绝缘层，除起到绝缘作用外，也有利于神经的传导。突起的粗细和髓鞘的厚度与神经的传导速度成正比，即粗的纤维（突起粗，髓鞘厚）传导速度快，细的纤维（突起细，髓鞘薄）传导速度也慢。

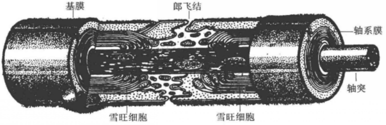


图 2-3 周围神经系统有髓纤维

2. 神经纤维的分类 神经纤维的分类方法很多，可按其所在部位分为中枢神经纤维和

周围神经纤维；按其传导方向分为传入神经纤维（感觉纤维）和传出神经纤维（运动纤维）；还可根据其结构、直径大小进行分类。

（1）按其结构特点分类

①有髓纤维（myelinated fiber）：在周围神经系统，有髓纤维是一条神经元的突起外面由雪旺细胞的胞膜以螺旋状盘绕数层而成（图2－3、4）。在中枢神经系统有髓纤维的髓鞘与周围神经系统的相似，但其髓鞘是由少突胶质细胞的轴突形成，每个少突胶质细胞伸出几个突起，分别包在几条轴突上形成髓鞘，一个突起又可包卷数个结间段。

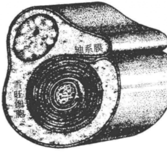


图2－4 周围神经系统有髓纤维结构示意图

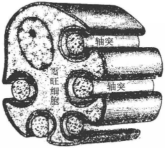


图2－5 无髓纤维结构示意图

②无髓纤维（unmyelinated fiber）：较细。无髓纤维也并非无髓鞘，只是其结构简单，仅由中央突起和外围的神经膜细胞构成，是一条或多条突起包在一个雪旺细胞内，胞膜不作反复的螺旋卷绕，故不形成板层结构的髓鞘（图2－5）。

（2）根据直径大小、传导速度快慢分类　将周围神经纤维分为A、B、C三类：

①A类神经纤维：具有发达的髓鞘，最粗，直径约1～22μm，传导速度最快，为5～120m/s。

②B类神经纤维：具有髓鞘，但较薄，直径约1～3μm，传导速度较慢，为3～15m/s，主要分布至内脏。

③C类神经纤维：为无髓纤维，最细，直径小于1μm，传导速度最慢，为0.6～2m/s，此种神经纤维分布于后根及自主神经节后纤维。

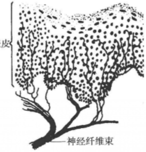


图2－6 游离神经末梢模式图

（四）神经末梢

神经末梢（nerve ending）是周围神经纤维的终末部分，伸达其他组织或器官所形成的特殊结构。按其功能不同可分为感觉神经末梢和运动神经末梢两类。

1. 感觉神经末梢　感觉神经末梢（sensory nerve ending）又称感受器（receptor），是感觉神经元的周围突末端与其他周围组织共同构成的结构，可接受体内、外环境的特定刺激，并将刺激转为神经冲动传至中枢神经系统，产生相应的感觉。依感觉神经末梢形态结构可将其分为以下类型：

（1）游离神经末梢（free nerve ending）　感觉神经纤维

接近末端处，其外表的神经膜细胞及其髓鞘消失，裸露的树突反复分支后分布在表皮、毛囊、角膜、黏膜上皮、浆膜、真皮、骨膜、脑膜、血管外膜、关节囊、肌腱、韧带、筋膜和牙髓等处（图2－6）。能感受物理、化学刺激，产生疼痛、冷热和轻触等感觉。

（2）*触觉小体*（tactile corpuscle）　呈卵圆形，分布于皮肤真皮的乳头内，以手指、足趾的掌面为多。其长轴与皮肤表皮面垂直，被囊内有许多扁平样触觉细胞（tactile cell），裸露的神经纤维围绕着扁平样触觉细胞（图2－7）。能感受应力刺激，产生触觉。

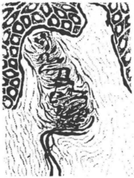


图2－7　触觉小体

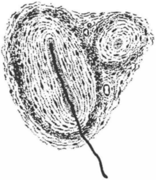


图2－8　环层小体

（3）*环层小体*（lamellar corpuscle）　体积较大，呈卵圆形或圆形，广泛分布于手掌、足趾的皮下组织、外生殖器、韧带、关节囊和肠系膜等处，感受较强应力刺激，产生震动、张力、牵拉和压觉。被囊内可见数十层呈同心圆排列的扁平细胞，其中央有一均质样的柱状体，裸露的神经纤维穿行于柱状体内（图2－8）。

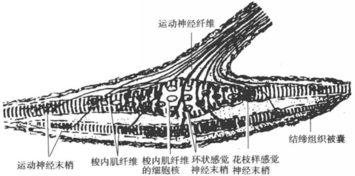


图2－9　肌梭模式图

（4）*肌梭*（muscle spindle）　是分布在骨骼肌内的感觉神经末梢，呈梭形。被囊内有数条骨骼肌纤维，称梭内肌纤维（intrafusal muscle fiber）。裸露的神经纤维缠绕或呈花枝样附着在梭内肌纤维含核集中部位的外表（图2－9）。肌梭主要是感受骨骼肌纤维的伸缩、牵拉刺激，产生肌纤维张力感，使机体产生各部位姿势、位置状态的感觉。肌梭属本体感受

器，在调节骨骼肌活动中起重要作用。

2. 运动神经末梢 运动神经末梢（motor nerve ending）是指运动神经元的轴突终末与肌组织或腺细胞共同构成的效应器（effector），以支配肌纤维的收缩或腺体的分泌。依据运动神经末梢分布区域的不同，可将其分为躯体运动神经末梢和内脏运动神经末梢两种类型。

（1）躯体运动神经末梢（somatic motor nerve ending） 分布在骨骼肌。脊髓前角或脑干的运动神经元长轴突接近骨骼肌纤维时失去髓鞘，裸露的轴突反复分支，各分支末端形成钮扣样膨大，并与骨骼肌纤维形成突触连接，此连接区呈椭圆形隆起，称运动终板（motor end plate）或称神经肌连接（neuromuscular junction）。电镜下运动终板处的骨骼肌纤维表面凹陷成浅槽，槽底肌膜即突触后膜，形成许多皱褶，使突触后膜面积增大。轴突终末嵌入浅槽，槽内有许多含乙酰胆碱的圆形突触小泡（图2－10）。当神经冲动到达运动终板时乙酰胆碱释放，与突触后膜上的相应受体结合，改变肌膜（突触后膜）两侧离子分布而产生兴奋，从而引起肌纤维的收缩。

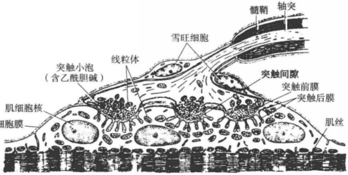


图2－10 运动终板整体压片光镜结构模式图

（2）内脏运动神经末梢（visceral motor nerve ending） 是分布在内脏及血管壁的平滑肌、心肌和腺体等处的运动神经末梢。其神经纤维细，无髓鞘，分支末端常呈串珠或膨大的小结，贴附于肌纤维表面或穿行在腺细胞之间，与效应细胞形成突触。

二、神经元的分类

神经系统中含有上百亿个神经元，分类方法很多。

（一）根据神经元突起的数目分类

1. 假单极神经元（peudounipolar neuron） 自胞体只发出一个短突起，很快呈“T”形分叉为两支，一支至周围的感受器称周围突，另一支入脑或脊髓称中枢突。脑、脊神经节中的感觉神经元属于此类（图2－11）。

2. 双极神经元（bipolar neuron） 自胞体两端各发出一个突起，其中一个抵达感受器，称周围突；另一个进入中枢部，称中枢突。如位于视网膜内的双极细胞、内耳的前庭神经节和蜗神经节内的感觉神经元（图2－11）。

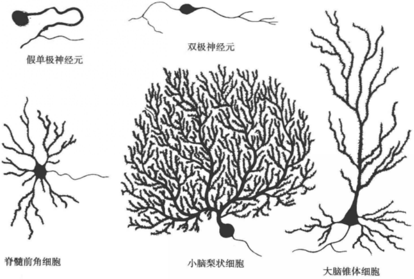


图2－11 神经元的分类

3. 多极神经元（multipolar neuron） 具有多个树突和一个轴突，是最典型的神经细胞，中枢部内的神经元绝大部分属于此类。

（二）根据神经元的功能分类

1. 感觉神经元（sensory neuron） 将内、外环境的各种刺激传向中枢部，假单极和双极神经元即属此类。

2. 运动神经元（motor neuron） 将冲动自中枢部传向身体各部，支配骨骼肌或控制心肌、平滑肌的活动和腺体的分泌，多极神经元属于此类。

3. 联络神经元（association neuron） 是在中枢部内位于感觉和运动神经元之间的多极神经元，此类神经元的数量很大，占神经元总数的99%，在中枢内构成复杂的网络系统，以不同的方式对传入的信息进行贮存、整合和分析并将其传至神经系统的其他部位。

（三）根据神经元轴突的长短分类

1. 高尔基Ⅰ型神经元（Golgi Ⅰ neuron） 轴突较长，其轴突可伸延到胞体范围以外的区域，从脑的一个部分延伸到另一个部分，这些神经元又称为投射神经元（projection neuron）。如脊髓前角的运动神经元、大脑皮质的锥体细胞、小脑皮质的浦肯野细胞和颗粒细胞等。

2. 高尔基Ⅱ型神经元（Golgi Ⅱ neuron） 轴突短，轴突分支不超出其树突延伸的范围，常在特定局限的小范围内传递信息，又称局部中间神经元。例如，大脑皮质、小脑皮质和脑干网状结构中的星状细胞等。

（四）根据神经元合成、分泌化学递质的不同分类

1. 胆碱能神经元 位于中枢神经系和部分内脏神经中，释放乙酰胆碱。

2. 单胺能神经元 包括儿茶酚胺能（分泌去甲肾上腺素、多巴胺等）、5－羟色胺能和组胺能神经元，广泛分布于中枢和周围神经系。

3. 氨基酸能神经元 以γ－氨基丁酸、谷氨酸和甘氨酸等为神经递质的神经元，主要分布于中枢神经系。

4. 肽能神经元 以各种肽类物质（如生长抑素、P物质、脑啡肽等）为神经递质的神经元，广泛分布于中枢和周围神经系。含上述相同神经递质的细胞聚集在一起组成脑内各种特异神经递质系统。

三、突触

（一）突触的概念

在脑和脊髓内存在数量庞大的神经元，每一神经元在结构和功能上虽是独立单位，但每个神经元不是孤立存在的，更不能单独完成神经系统的功能活动，而是许多神经元相互联系、共同完成的。一个神经元与另一个神经元发生功能联系的接触点称突触（synapse），突触是神经信息传递的特化结构。突触首先由英国生理学家 Sherrington 于1897年提出，“synapse”意思为“紧扣”。突触是由一个神经元的轴突终末或其侧支的终末与另一个神经元的树突、胞体甚至轴突的表面接触而成。现在发现，突触不仅是两个神经元之间存在接触的特殊区域，而且神经元和非神经成分间也有类似的接触，如感受器与神经元间的连接或效应细胞与神经元间的肌肉－神经接头。随着超微结构研究的日益深入，发现一个神经元的任何一个部位都可以与另一个神经元的任何一个部位形成突触，甚至一个神经元的自身突起也可发生自突触（autapse）的连接关系，从而修正了传统的观念，大大地扩大了对突触结构和功能的了解。

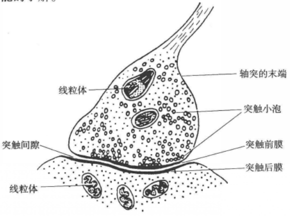


图2－12 突触的超微结构模式图

（二）突触的基本形态结构

光镜下可观察到发生突触的部位轴突末端膨大，呈扣状或环状，称终结或终扣（synaptic bouton），附在另一个神经元的胞体、树突或轴突的表面。在电镜下化学突触由突触前部、突触后部和突触间隙组成（图2－12）。

1. 突触前部或突触前成分（presynaptic element） 前一个神经元膨大的轴突终末，在电镜下观察呈囊状结构，故又称突触前囊（presynaptic bag），其表面被有一层5～7nm厚

的特化膜，是由轴突膜延续而来，其与突触后成分相对应的部分，称突触前膜（presynaptic membrane），在其胞浆面附有致密物质。突触前部内含有储存并能释放神经递质的突触囊泡（synaptic vesicle），它是突触传递的量子单位，它们能与突触前膜接触并融合，将递质释放至突触间隙，作用于突触后膜上的受体，产生突触后效应。此外在突触前囊还含有线粒体、滑面内质网、神经细丝和微管等结构。

2. 突触后部或突触后成分（postsynaptic element） 与突触前成分相对的膜，为突触后膜（postsynaptic membrane），膜下也有致密物质附着。突触后成分的结构随连接部位（如胞体、树突和侧棘）的不同而有差异，主要可见线粒体、微管、神经细丝、粗面和滑面内质网等。

3. 突触间隙（synaptic cleft） 在电镜下可观察到突触前、后膜之间有间隙，称突触间隙。其宽度因突触的类型不同而异。化学突触的突触间隙较宽，约 15～30nm，电突触突触间隙较窄，约 2nm。突触间隙内含有黏多糖、糖蛋白和唾液酸。唾液酸以唾液酸糖脂和唾液酸糖蛋白的形式存在，可与递质分子相结合，使递质分子迅速从突触前膜向突触后膜运动，不使其向外扩散。糖蛋白与突触识别有关，尤其是建立新的突触时，可借糖蛋白的识别作用与相关的神经终末与突触后成分组建突触连接。突触兴奋时，突触间隙内的微丝和大分子化学物质使递质通过而达到突触后部；当非活动状态时，微丝和大分子化学物质形成一个不定形的匀质阻止递质通过。

（三）突触的分类

1. 根据突触传递方式 可将突触分为电突触和化学突触。

（1）电突触（electric synapse） 两神经元之间借电位变化传递信息，称电突触。此种连接形式电阻低，传导速度快，突触延搁短，甚至无延搁现象。电信号可双向传导。电镜下电突触是对称性突触，其突触间隙很窄，约 2nm，属缝隙连接，借细管使相邻细胞的离子相通，产生一个对电流的低阻抗通路，很容易使电流通过。电突触内虽然有时也见类似突触囊泡样的结构，但在生理学和生物化学上未能证实这种囊泡样结构有化学传递的特性。

电突触在无脊椎动物常见；两栖类鱼、蛙中枢神经系统内电突触较为普遍；在哺乳动物的中枢神经系统内仅见于某些核团（如前庭外侧核、三叉神经中脑核等），在灵长类动物和豚鼠的视网膜内也有电突触。

（2）化学突触（chemical synapse） 化学突触是借释放递质传递信息。当神经冲动到来时，储存在突触囊泡内的化学递质便进行释放，通过突触间隙扩散到突触后膜上与受体结合，引起突触后膜去极化或超极化。神经信号通过突触时有明显的延搁现象，约为 0.5～2ms。在电镜下观察，化学突触的突触膜有增厚的致密物质，突触间隙较宽（15～30nm），属开放型的突触间隙。化学突触的突触前成分内含有很多储存递质的突触囊泡。

（3）混合型突触（mixed synapse） 在一个突触连接部位既有化学突触，又有电突触的存在，这样的突触为混合型突触，它兼有化学传递和电传递的特性。哺乳动物（如大鼠等）前庭外侧核和小脑苔藓纤维与颗粒细胞间的突触以及鸟类的睫状神经节、电鳗的电动中继核都有这类突触。混合型突触中的电突触的迅速传导有利于化学突触的递质释放。

2. 根据突触的连接部位 分为轴-树、轴-体、轴-轴、树-树、树-轴、树-体、体-体、体-树、体-轴突触等，这是突触最基本的和最常用的分型。

3. 根据功能特性 分为兴奋性突触和抑制性突触。

凡是引起兴奋性突触后电位的递质为兴奋性递质，释放兴奋性递质的突触称兴奋性突触（excitatory synapse）。凡是引起抑制性突触后电位的递质为抑制性递质，释放抑制性递质的突触称抑制性突触（inhibitory synapse）。

四、神经元的变性与再生

（一）变性

神经元如受到各种致病原因，如中毒、血液循环障碍、缺氧、轴突切断等损伤时，神经元的胞体和突起都可发生反应。神经元的反应类型比较简单，不外乎变性（degeneration）和坏死。变性时细胞或组织代谢过程尚未停止，一旦病因消除神经元仍可恢复。变性和萎缩是可逆反应。当神经元受到严重的损伤时，则整个神经元坏死，坏死是代谢过程停止，酶分解造成神经元自溶变化，是一种不可逆反应。

传统认为神经元是典型的减数分裂后的细胞，在发生过程，一旦成为神经细胞后，即失去了 DNA 的合成能力，不再进行分裂，所以一旦受到损伤，不再分裂补充。以外周神经纤维被切断后，神经元的病理改变为例（图 2－13）来说明：

1. 胞体变化 神经纤维被切断数小时后，光镜下可见到神经元的胞体出现肿胀；细胞核移向边缘；尼氏体破坏溶解，此变化从中央向周围扩散。此时胞质色浅，2 周后达到高峰，以后逐渐恢复。电镜下，胞体内粗面内质网数量减少，排列松散以至消失；高尔基复合体、线粒体以及溶酶体也出现不同变化。

2. 神经纤维变化 当轴突被切断 12 小时后神经纤维即可出现显著的形态改变。

神经纤维的远侧端由于与胞体失去了联系出现轴突肿胀，不久分裂为碎片，崩裂成颗粒，被组织中的巨噬细胞吞噬吸收，最后消失。此变化早在 1852 年就被 Waller 研究，所以将神经纤维远侧端的变性称为 Waller 变性，也称顺行性变性。当轴突被切断后，神经纤维的近侧端也发生溃变，称为逆行变性。其胞突肿大，崩裂成颗粒，被组织中的巨噬细胞所吞噬和清除。

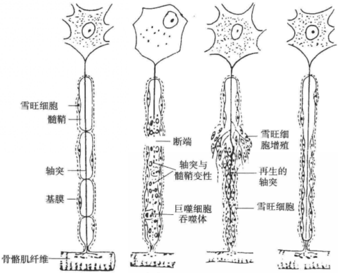
（二）神经元的再生

神经元损伤后的再生（regeneration）是科学家们多年来一直感兴趣的研究领域，19 世纪末至 20 世纪初，科学家们发现低等动物如鱼、两栖类的中枢神经系统和周围神经损伤后都能再生，然而在哺乳类动物中只有周围神经损伤后能再生，中枢神经系则不能再生。

在周围神经纤维受损后，经过一定时间轴突的断端先发出小芽，沿神经膜管逐渐向远端延伸到达伤口的瘢痕组织中。再生的轴突芽具有变形虫式运动，通过瘢痕组织进入远端保留着的神经膜管，其有引导作用，使纤维的生长加快，最后到达原来神经纤维所在部位（图 2－13）。

神经元的胞体是神经元的营养中心，只有在胞体没有死亡的情况下才有再生的可能。当神经元受损后，如胞体没有死亡，在第三周开始恢复。首先核膜处的胞质出现尼氏体，然后恢复正常的形态和分布，胞体肿胀逐渐减轻，胞核恢复中央位置（图 2－13）。

Cajal 1928 年断言哺乳类动物的中枢神经系没有再生能力，致使该领域的研究工作一直



注：（1）正常神经元　（2）神经纤维离断初期神经元的变化
（3）神经纤维离断后，恢复期神经元的变化　（4）神经纤维再生完成

图2－13　周围神经的变性与再生

停滞不前，一直到1958年Liu和Chamber证明了哺乳动物神经系统也具有很大的可塑性，从此该领域又趋向活跃。特别是1998年11月“人胚胎干细胞的研究报告”震惊了世界，构成人体四大组织的210种细胞来自胚胎干细胞，这些干细胞在适当的条件下可培育出成年人体所有的细胞和组织，包括神经组织。

长期以来人们一致认为成年脑内没有这种干细胞，人脑内的神经细胞是终生的，如遇到损伤，失去的神经细胞也是永久的，只能由胶质细胞所充填。现在已打破了这一认识，最近在神经生物学领域内的重要进展之一是发现成年脑组织内确实存在具有多种潜能的干细胞，这些干细胞主要限于两个脑区：海马的齿状回和嗅球。现已证明成年哺乳动物脑内神经干细胞与脑室室管膜下层有关，室管膜下层细胞（神经上皮细胞）在一定的条件下可以分化为神经细胞和神经胶质细胞。

第二节　神经胶质

一、概述

神经胶质（neuroglia）也称胶质细胞（glial cell），是神经组织中的另一大类细胞，是神经系统间质细胞和支持细胞的统称。胶质细胞数量庞大，为神经元的10～50倍之多，是神

经组织不可缺少的组成部分。胶质细胞也具有突起，但不分树突和轴突；胞浆内缺乏尼氏体和神经原纤维；一般没有传导功能；其分布广，几乎遍布于神经系统；其分裂、增殖能力极强，特别是神经系统损伤后极其活跃。普通染色只能显示细胞核，只有用镀银或免疫组织化学技术才能显示其全貌。胶质细胞除对神经元具有支持、保护、营养修复等作用外，由于它有许多神经递质的受体和离子通道，对神经系统活动的调节起着十分重要的作用。

二、胶质细胞的分类

根据神经胶质细胞所在位置，在中枢神经系统有星形细胞、少突胶质细胞、小胶质细胞、室管膜细胞，周围神经系统有雪旺细胞和被囊细胞。

（一）星形细胞

星形细胞（astrocyte）是神经胶质细胞中体积最大，数量最多的胶质细胞。其直径约9～10μm，普通染色细胞核较大，由于染色质少，着色较淡。镀银染色星形细胞胞体呈多角形，胞突自胞体呈放射状向细胞四周伸出，故称星形细胞。星形细胞的有些突起末端常常膨大，称终足（end foot)，终止于血管表面，与毛细血管内皮及基膜共同形成血脑屏障。依据星形细胞的形状和胞浆内原纤维的含量可分为原浆性星形细胞和纤维性星形细胞（图2－14）。

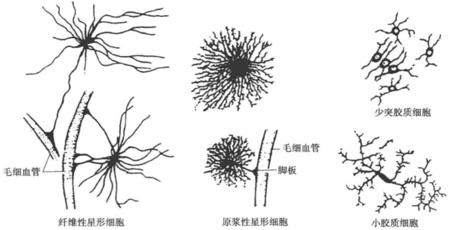


图2－14　各类胶质细胞

1. 原浆性星形细胞（protoplasmic astrocyte）　又称苔藓细胞（mossy cell），主要分布于灰质中。核较大，富含常染色质，着色较浅。突起较粗短，有许多细小的分支，呈绒球状，细胞含胶质原纤维少。

2. 纤维性星形细胞（fibrous astrocyte）　又称蜘蛛细胞（spider cell），主要分布于白质中，突起直而细长，分支少，细胞内含较多的胶质原纤维。

有的学者认为，两种胶质细胞可能是同一种胶质细胞的不同形式，或与所处的环境不同有关。也有人认为，虽然在组织培养中有两种形态和功能不同的表型，但只有一种细胞类型

见于活体，它能执行所有不同星形细胞的功能。星形细胞与神经细胞的主要区别在于胞浆内不含尼氏体而含胶质原纤维（属中间丝）；细胞器少，突起无极性，核内异染色质较多等。与其他胶质细胞的区别是胞体最大，核染色最浅。

传统认为星形细胞的功能主要有：①通过其广泛分布的突起构成神经组织的支架，对神经元具有支持作用。②具有分裂能力，特别是在中枢神经系统创伤后，可吞噬清除变性的组织碎片，进行分裂，形成胶质疤痕。胶质疤痕是脑肿瘤好发的根源。③星形细胞的突起附着于毛细血管，形成血脑屏障，参与物质运输。近年来研究发现星形细胞还参与了神经递质的代谢、合成神经活性物质、维持神经元周围的离子平衡等。总之，星形细胞在神经系统的发育、生理及病理过程中都起着十分重要的作用。

（二）少突胶质细胞

少突胶质细胞（oligodendrocyte）胞体较星形细胞小，胞体呈球形或多角形，直径6～8μm左右。一般发出3～4个突起，突起分支少。核染色较星形细胞深，胞质较少。少突胶质细胞存在于灰质和白质内。分布于灰质中者多靠近神经元的胞体，分布于白质中者大都沿神经纤维成行排列。分布于白质内神经纤维之间的称束间细胞（intrafascicular cells）；在灰质内紧贴在神经元胞体或树突表面的称卫星细胞（satellite cells）；分布于血管周围，沿血管排列成行或数个细胞集中于血管分支处的称血管周围细胞（perivascular cells）。一般少突胶质细胞无足板。在神经组织内除少突胶质细胞可成为卫星细胞外，星形胶质细胞和小胶质细胞也可以成为卫星细胞。电镜下少突胶质细胞的细胞质较星形胶质细胞致密。细胞核异染色质较星形细胞多，浓缩成块状，核仁难以看清。胞浆内仅含少量的胶质丝和糖原，但线粒体、微管、游离核糖体丰富，特别是高尔基复合体发达。少突胶质细胞与星形胶质细胞的最大区别在于：细胞质和细胞核致密；细胞质内缺少细丝和糖原；胞突内有大量的微管。少突胶质细胞的主要功能是形成中枢神经的髓鞘。每一个少突胶质细胞可以产生几段髓鞘，每一节段髓鞘由一个独立的突起形成。此外少突胶质细胞有抑制神经元突起生长的作用。当神经元轴突生长的末端一旦与少突胶质细胞接触，便停止生长。

（三）小胶质细胞

小胶质细胞（microglia）是胶质细胞中最小的细胞，直径约4μm。关于其来源意见不一，大量证据支持小胶质细胞来源于中胚层。小胶质细胞存在于白质和灰质中。光镜下，小胶质细胞胞体呈扁长或多角形，细胞质较少。胞突短而弯曲，分支上有棘，无血管足。胞核扁或卵圆形，用碱性染料染色着色深。电镜下可见小胶质细胞的胞质致密，自胞体伸出较粗的胞突。胞质少，不含胶质原纤维，粗面内质网扁长，高尔基复合体明显。

在正常情况下，成体脑处于静止状态，小胶质细胞数量较其他胶质细胞少，在脑中只占4%～5%或10%～20%。当中枢神经系统受损、炎症或变性时，小胶质细胞异常活跃，迅速增殖，并移向损伤部位，吞噬坏死组织，变成大而圆的格子细胞（gitter cell），促进组织修复，故小胶质细胞被称为中枢神经系统的巨噬细胞。

（四）室管膜细胞

室管膜细胞（ependymal cell）是衬附在脊髓中央管和脑室内面的上皮细胞。成体的室管

膜细胞一般为立方上皮，胞核呈圆形或椭圆形，胞浆中可见原纤维。电镜下，胞核呈锯齿状边缘，异染色质较多，胞浆中除富有位于顶部的线粒体外，还有微管、微丝、少量的粗面内质网和吞饮小泡。室管膜细胞能协助神经组织与脑室腔内的液体之间进行物质交换。

最新研究发现，在室管膜下区有一层原始的、有分裂活性的干细胞（stem cell），在成年动物，这些干细胞有分化为神经细胞、星形细胞和少突胶质细胞的能力，这也可能是人类胶质瘤的来源。

（五）雪旺细胞

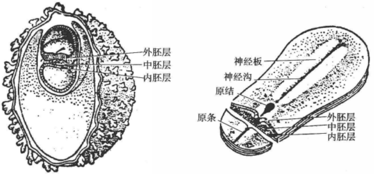
雪旺细胞（Schwann cell）又称神经膜细胞（neurolemmal cell），是周围神经系的卫星细胞，扁平、呈薄筒状包绕周围神经的轴突，形成周围神经的髓鞘（图2-3、4、5）。

第三章　神经系统的发生

神经系统由胚胎时期外胚层所形成的神经管（neural tube）和神经嵴（neural crest）发育而成。神经管和神经嵴是整个神经系统发生的原基，神经管演化成脑和脊髓，神经嵴则演化成脑神经节、脊神经节和自主神经节的细胞及神经系以外的某些成分。

第一节　神经管的形成和演化

一、神经管的形成

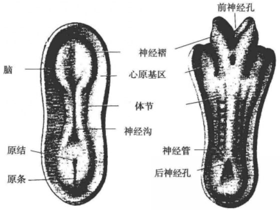


（1）3周人胚模式图　（2）3周末的胚盘

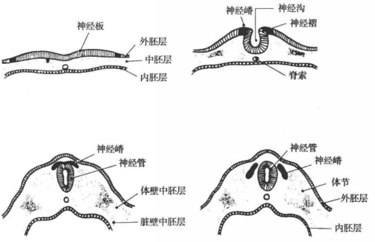
图3－1　人胚3周模式图

（一）神经管的早期发育

人胚发育的第3周，形成了由内、中、外三个胚层组成的盘状结构，称胚盘，是将来形成人体的原基（图3－1）。于第3周末，胚盘背部的外胚层沿中轴首先增厚，形成鞋底样的神经板（neural plate）。不久，神经板的外侧边缘部分增生变厚形成神经褶（neural fold），中央凹陷的纵沟为神经沟（neural groove）。由于神经板的细胞增殖，神经沟加深，神经褶更



（1）整体观



（2）横切面

图 3 - 2　神经管与神经嵴的形成

加隆起，最后左右神经褶在中线相互靠近，第 4 周时愈合形成神经管（neural tube）（图 3 - 2）。愈合部位首先发生在前中部处（后来的颈部），然后向前、后推进。由于前后两端愈合较晚，所以此时神经管前、后两端暂时各存留一个孔，分别称前神经孔（anterior neuropore）和后神经孔（posterior neuropore）。前神经孔在胚胎第 25 ~ 26 天愈合，愈合处以后成为终板（terminal plate）；后神经孔约在 28 ~ 30 天愈合，两孔完全愈合后形成的一个封闭管状结构，

即神经管；最后神经管与表面的外胚层脱离，位于深部的间充质组织中。在神经褶未完全闭合时，神经管前端已膨大，当神经孔闭合时，神经管前端的膨大部分已发育形成脑泡（brain vesicle），将来形成脑，后端仍保持管状结构，将来形成脊髓。

（二）神经管的组织分化

在神经管发育的过程中也伴随着细胞、组织的分化。早期神经管的管壁是由一层假复层上皮组成，只含有一种细胞，称神经上皮细胞（neuroepithelial cell）。此细胞不断分裂增殖，其中一部分分化为成神经细胞（neuroblast），并向神经上皮的外周迁移，围绕于神经上皮细胞的外层形成神经管壁的套层（mantle layer），以后形成神经管的灰质。套层细胞的轴突伸出套层外，形成神经管壁的边缘层（marginal layer），以后成为神经管的白质。在胚胎第5周时，神经管管壁由内向外可分为神经上皮层，又称室管膜层（ependymal layer）、套层和边缘层（图3－3）。

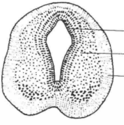


图3－3 神经管壁的分层（横切面）

迁移至套层的成神经细胞起初为圆形，无突起，称无极成神经细胞。这种细胞进一步分化，从细胞的两端各伸出一个突起，成为双极成神经细胞。双极成神经细胞一个突起伸向神经管腔，另一突起伸向边缘层。以后伸向神经管腔一侧的突起退化，成为单极成神经细胞，伸向边缘层的突起分化为轴突。随后，单极成神经细胞的内侧端又发出一些分支，为原始树突，这时它就成为多极成神经细胞，将来形成成熟的多极神经细胞。成神经细胞是分裂后细胞（postmitotic cell），一般不再有分裂增殖的能力。

神经上皮细胞除分化成成神经细胞外，另一部分分化为成神经胶质细胞（glioblast）。当成神经细胞停止增殖后，神经上皮细胞分化产生成胶质细胞，它由神经上皮层迁移至套层，在套层内分化为星形胶质细胞和少突胶质细胞，最后迁人边缘层。少突胶质细胞的突起包绕边缘层内的轴突，形成中枢神经的神经纤维。关于中枢神经内的小胶质细胞的来源问题，意见不一，有人认为来源于外胚层，也有人认为来源于成胶质细胞，更多的人认为来源于中胚层的吞噬细胞。

当神经上皮细胞停止产生成神经细胞及成胶质细胞时，停留在原位的神经上皮细胞，转变成为脊髓中央管及脑室的室管膜上皮（图3－4）。

二、脊髓的发育

在神经管组织衍化为3层结构的同时，由于神经管壁各部成神经细胞增殖的速度不同，致使管壁的厚薄不均。两侧壁的细胞迅速增殖而增厚，并在侧壁内侧面中部出现一纵行的长沟，称为界沟（sulcus limitans）。界沟将侧板分成背、腹两部分，背侧部称翼板（afar plate），腹侧部称基板（basal plate）。神经管的背侧壁及腹侧壁则很薄，分别称顶板（roof plate）和底板（floor plate）。翼板将发展形成脊髓的后柱，其套层的成神经细胞分化成中间神经元，其轴突上、下行于脊髓白质。基板将发展形成脊髓的前柱和侧柱，其套层的成神经细胞分别分化成躯体运动神经元及自主神经节前神经元，它们发出轴突向外生长，组成脊神

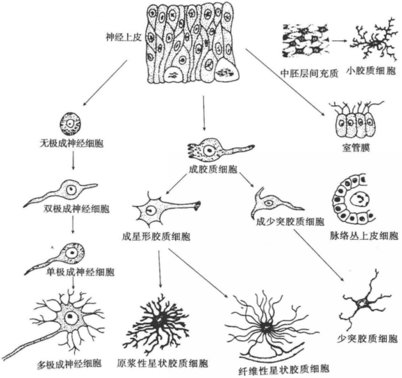


图 3－4 神经元和神经胶质细胞的发生

经的前根，分别分布于骨骼肌或自主神经节后神经元。顶板和底板主要形成室管膜和胶质细胞，不含成神经细胞。一般认为底板只抵中脑尾端，基板只抵中脑头端，因此端脑和间脑缺少底板和基板（图 3－5）。

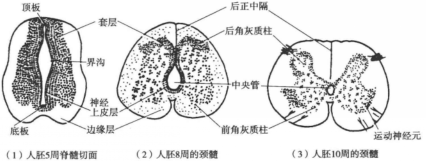


图 3－5 脊髓的分化

脊髓的白质为神经管的边缘层衍化而成，主要由神经元突起与神经胶质细胞所组成，其中神经元轴突在脊髓内上、下行，聚集形成传导束。神经管的管腔狭细，形成脊髓的中央管。

三、脑的发育

人胚胎第4周，当神经管尚未闭合前，神经管头端膨大，管壁增厚，形成了脑泡原基。由于原始脑泡各部生长速度不等，出现两个环形缩窄，结果形成了3个原始脑泡，从前向后依次为前脑泡（prosencephalon）、中脑泡（mesencephalon）和菱脑泡（rhombencephalon）（图3－6）。当胚胎第5周时，原始脑泡进一步发育形成5个脑部。前脑泡的前部发育为端脑（telencephalon），前脑泡的后部发育为间脑（dieflcephalon）；中脑泡改变较少；菱脑泡的前部发育为后脑（metencephalon），以后将形成脑桥和小脑，后部发育为末脑（myelencephalon）形成延髓。因此，最后脑泡由头端依次分为端脑（大脑）、间脑、中脑、后脑（以后分化为脑桥和小脑）和延髓五个部分（图3－6）。以后，随着胚胎的发育，各脑泡不仅在外形上发生变化，在内部结构上也有很复杂的变化。如：脑室部分的顶板与周围软脑膜、血管丛形成脉络组织与脉络丛；在大脑半球和小脑，由于成神经细胞由套层向边缘层迁移，灰质在表面分别形成大脑皮质及小脑皮质，白质在内部，遗留在白质部分的成神经细胞后来形成各种神经核。

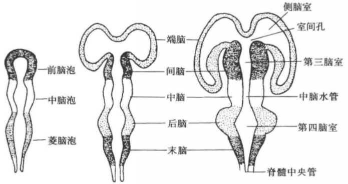


图3－6　脑泡的发生及演变

在脑泡发育的同时，其内腔室的形状、大小也随着脑泡的发育而发生相应的变化。菱脑内的发育为第四脑室，中脑的腔室狭窄为中脑水管，间脑内的发育为第三脑室，大脑半球内的发育为侧脑室，侧脑室通过室间孔与第三脑室相通。

在神经管演变成脑和脊髓的过程中，可发生无脑、脑膨出、脊柱裂和先天性脑积水等畸形。

第二节　神经嵴的发育

在神经管的形成过程中，神经板两侧与外胚层的相接处左右各出现一群细胞，它们位于神经管的两侧，形成了两条纵行的细胞索。当神经管形成时，这两群细胞也逐渐向中间靠拢，并从体表外胚层脱离成为神经嵴（neural crest）。神经嵴是脑、脊神经节和交感神经节等的原基。

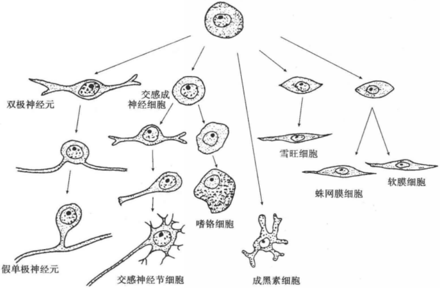


图3－7　神经嵴细胞的分化

一、脑、脊神经节的形成

在神经管发育的同时，神经管两侧的中胚层呈水平分节状，称体节（somites），是产生椎骨、躯干肌、真皮等的原基。神经嵴的一部分细胞逐渐向神经管的背侧迁移，位于神经管与体节之间，分成节段性的细胞群。在脊髓处的发育为脊神经节，在脑部的神经嵴细胞分化形成大部分脑神经节（如第Ⅴ、Ⅶ、Ⅸ、Ⅹ脑神经节）及所有脊神经节内的成神经细胞。关于第Ⅷ脑神经节，多认为它不是来自神经嵴，而是来自头部外胚层的上皮细胞。

脑神经节和脊神经节内的成神经细胞发出两个突起，分化为双极神经元，随后两个突起的起始部逐渐靠拢合并，形成“T”形分支的假单极神经元。其中枢突伸入神经管的背侧形成后根；另一个突起是周围突，其末端伸向周围各器官和组织形成各种感受器。也有些细胞最终仍保持双极的形态，如第Ⅷ脑神经的蜗神经节及前庭神经节。

二、交感神经节的形成

神经嵴细胞向腹侧迁移分化形成交感神经节及副交感神经节内的成神经细胞。有关副交感神经节细胞的起源问题尚有争论，也有人认为是由中枢神经迁移出来的，也有人认为来源于脑神经节的成神经细胞（图 3－7）。

此外，神经嵴细胞还形成神经纤维的雪旺细胞、神经节内卫星细胞、肾上腺髓质的嗜铬细胞、皮肤的黑素细胞等。

第四章 脊髓和脊神经

第一节 脊 髓

脊髓（spinal cord）起源于胚胎时期神经管的后端，是中枢神经系统的低级部分，保留着明显的节段性。自脊髓发出的31对脊神经分布到躯干和四肢。脊髓与脑的各部之间有着广泛的双向联系，来自躯干、四肢的各种刺激通过脊髓传导到脑才能产生感觉，脑也要通过脊髓来完成复杂的功能。在正常状况下，脊髓的活动是在脑的控制下完成的，但脊髓本身也能完成许多反射活动。

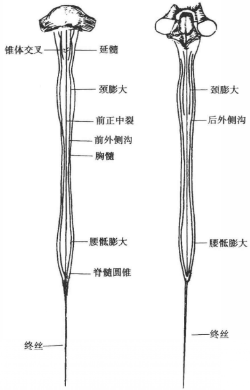


图4－1 脊髓的外形

一、脊髓的位置和外形

脊髓位于椎管内，上端平枕骨大孔处与延髓相连，下端缩窄变细为圆锥形，称为脊髓圆锥（conus medullaris）。圆锥末端在成人平第1腰椎体下缘，儿童位置较低，新生儿脊髓下端多平第2、3腰椎之间。成年男性平均长约42～45cm，最宽处横径为1～1.2cm。脊髓圆锥末端向下延续为细长的无神经组织的终丝（filum terminale）。终丝是软膜的延续，在第2骶椎水平以下被硬脊膜包裹，向下止于尾骨后面的骨膜，对脊髓起着固定作用。

脊髓呈前、后稍扁的圆柱形（图4－1），全长粗细不等，有两个梭形的膨大，即颈膨大（cervical enlargement）和腰骶膨大（lumbosacral enlargement）。颈膨大自颈髓第4节

段至胸髓第 1 节段，由此发出的神经支配上肢。腰骶膨大自腰髓第 2 节段至骶髓第 3 节段，由此发出的神经支配下肢。这两个膨大的形成是由于其内部的神经元数量及纤维较多所致，与四肢的发达程度成正比。如前肢发达的动物猴、猿类颈膨大明显；后肢发达的动物袋鼠、鸵鸟等腰骶膨大明显；四肢退化的蛇类，脊髓无膨大。

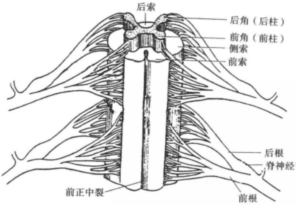


图 4－2　脊髓的节段

脊髓表面可见 6 条纵行的沟，前面正中较深的沟称前正中裂（anterior median fissure），后面正中较浅的沟称后正中沟（posterior median sulcus）。二者将脊髓分为左右对称的两半。在前正中裂和后正中沟的两侧，分别有成对的前外侧沟（anterolateral sulcus）和后外侧沟（posterolateral sulcus），分别有脊神经前、后根的根丝附着。在颈髓和胸髓上部，后正中沟和后外侧沟之间，还有一条较浅的后中间沟（posterior intermediate sulcus），是薄束和楔束之间的分界标志。

二、脊髓的节段及与椎骨的对应关系

（一）脊髓的节段

脊髓在外形上没有明显的节段，但每一对脊神经前、后根的根丝附着于脊髓，将与每一对脊神经前、后根相连的一段脊髓，称脊髓的 1 个节段。因为脊神经 31 对，故脊髓也分为 31 个节段：即 8 个颈节（C）、12 个胸节（T）、5 个腰节（L）、5 个骶节（S）和 1 个尾节（Co）（图 4－2、3）。

（二）脊髓节段与椎骨的对应关系

在胚胎 3 个月前，脊髓和椎管的长度大致相等，脊髓的各节段几乎平齐相应的椎骨，31 对脊神经近于直角从相应的椎间孔发出。自胚胎第 4 个月起，脊柱的发育速度比脊髓快，因此成人脊髓和脊柱的长度不等，脊柱的长度与脊髓的节段并不完全对应。了解脊髓节段与椎骨的对应关系，对病变和麻醉的定位具有重要意义。在成人，一般的推算方法为：上颈髓节段（C_{1-4}）大致与同序数椎骨相对应，如第 3 颈椎骨骨折，可导致第 3 脊髓颈段损伤；下颈

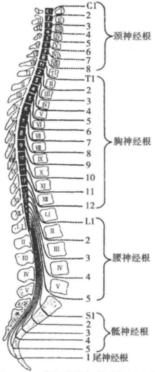


图4-3 脊髓节段与椎骨的对应关系

髓节段（C_{5-8}）和上胸髓节段（T_{1-4}）与同序数椎骨的上1节椎体平对，如第2脊髓胸段与第1胸椎体相平对；中胸部的脊髓节段（T_{5-8}）约与同序数椎骨上2节椎体平对，如第7脊髓胸段与第5胸椎体平齐；下胸部的脊髓节段（T_{9-12}）约与同序数椎骨上3节椎体平对，如第10脊髓胸节段与第7胸椎体平对；腰髓节段平对第10~12胸椎体，骶、尾髓节段平对第1腰椎体（图4-3）。

与脊髓相连的脊神经前、后根汇合形成脊神经，经相应的椎间孔离开椎管。因为脊髓比脊柱短，腰、骶、尾部的脊神经前后根要在椎管内下行一段距离，才能到达各自相应的椎间孔。腰、骶、尾段的脊神经根在没出相应的椎间孔之前，在椎管内围绕终丝下行，所形成的结构，仿其形称马尾（cauda equina）。

成年人，第1腰椎以下已无脊髓，只有浸泡在脑脊液中的马尾和终丝，所以临床上常选择第3、4或第4、5腰椎棘突之间进针行腰椎穿刺，以避免损伤脊髓。

三、脊髓的内部结构

脊髓如同神经系统的其他部分一样，是由神经元的胞体、突起和神经胶质细胞以及血管等组成。在新鲜的脊髓横切面上，可见有灰质和白质。脊髓的灰质在内部，灰质的周围是白质（图4-4）。

（一）灰质

脊髓的灰质成“H”形，其中间横行部分称灰质连合（gray commissure），中央有一细小的中央管（central canal）。中央管纵贯脊髓全长，管内含脑脊液。中央管向上连通第四脑室，向下到脊髓圆锥下部形成一梭形膨大，称为终室（terminal ventricle），末端成盲端，成人此管常闭塞。

每侧的灰质，向前部扩大为前角（柱）；后部狭细的部分称后角（柱）；前、后角之间的区域为中间带（图4-4）。

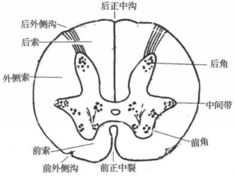


图4-4 脊髓内部结构（灰、白质分区）

1. 前角 前角（柱）[anterior horn（column）] 内主要含有多极运动神经元，称前角运动细胞。可分为大型的 α 运动神经元（25μm以上）和小型的 γ 运动神经元（15~25μm），它们的轴突组成脊神经前根的躯体运动成分，支配躯干和四肢的骨骼肌。α 运动神经元发出

突起分布到梭外肌纤维，引起关节的运动。γ 运动神经元散布于大型前角细胞之间，发出纤维至梭内肌，参与肌张力的维持和腱反射功能。此外，前角内还分布着一些小型的中间神经元称闰绍（renshaw）细胞，其接收 α 神经元轴突的返回侧支，发出的轴突又终止于同一个 α 运动神经元的胞体，具有抑制作用，故称抑制性中间神经元。

脊髓前角运动神经元是锥体传导路的下运动神经元，也是部分其他下行传导束和后根部分纤维的终止处。当前角运动神经元受损时，由于肌肉失去了来自运动神经元的支配，表现为其所支配的骨骼肌瘫痪并萎缩、肌张力低下、腱反射消失，称弛缓性瘫痪。

2. 中间带 中间带（intermediate zone）位于前、后角之间。自脊髓的胸 1 ~ 腰 3 节段，中间带向外突出的部分，称侧角（柱）[lateral horn（column）]。侧角内含有中小型多极神经元，也称中间外侧核（intermediolateral nucleus），为交感神经的低级中枢。在第 2 ~ 4 骶节处没有形成明显的侧角，但在其相当部位（前角基部）有一些较小的神经元，为骶副交感核（sacral parasympathetic nucleus），是副交感神经节前神经元胞体所在的部位，它们的轴突出脊髓构成前根的内脏运动成分。在中间带内侧部，中央管外侧有一团小型神经元为中间内侧核（intermediomedial nucleus），分布于脊髓全长，接受后根传入的内脏感觉纤维，并传递至内脏运动神经元。

3. 后角 后角（柱）[posterior horn（column）] 含多极神经元，也称后角细胞。它们接受后根感觉纤维传来的神经冲动，其轴突有的进入对侧白质形成长距离的上行传导束，将后根传入的冲动传导到脑；有的在脊髓内起节段内或节段间的联络作用。

由后向前可分为后角边缘核、胶状质、后角固有核、网状核和胸核（图 4 - 5）。

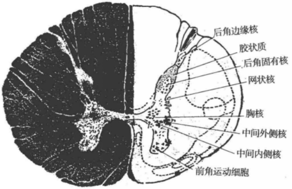


图 4 - 5 脊髓的灰质核团

后角边缘核（posteromarginalis nucleus）位于后角尖部，内含大、中、小型神经元。此核占脊髓全长，在腰骶膨大处神经细胞最多最清楚，胸髓处最少。它接受后根的传入纤维，发出的轴突，经白质前连合至对侧，参与组成脊髓丘脑束。

胶状质（substantia gelatinosa），形成后角头的大部，纵贯脊髓全长，由大量密集的小神经元组成，发出纤维分为升、降支，主要完成脊髓节段间联系，对分析、加工脊髓的感觉信息特别是痛觉信息起重要作用。

后角固有核（nucleus proprius），纵贯脊髓全长，在腰骶髓数量最多，胸髓数量最少。接受大量的后根传入纤维，其发出的纤维进入同侧或对侧白质，形成长的纵行传导束。

网状核（nucleus reticularis）位于后角固有核外侧的网状结构中，由中、小型神经元组成，其发出的纤维进入同侧或对侧外侧索内。

胸核（nucleus thoracicus），又称背核（nucleus dorsalis）或 Clarke 柱，仅见于 C_8 ~ L_3 节段，位于后角基底部内侧，发出纤维上行止于小脑，它是脊髓小脑后束的起始核。

4. 脊髓灰质的分层 Rexed 等根据脊髓细胞的形态特征，将脊髓灰质分为 10 个板层，这些板层从后向前分别用罗马数字Ⅰ～Ⅹ命名（图 4－6、表 4－1）。

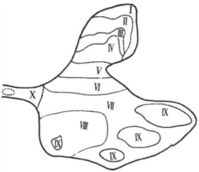


图 4－6 脊髓灰质分层示意图

板层Ⅰ（lamina Ⅰ）：又称边缘层（marginal layer），位于后角尖部，薄而边界不清楚，呈弧形，与白质相邻，内有粗细不等的纤维穿过，故呈海绵状，又称海绵带，内有边缘核。

板层Ⅱ（lamina Ⅱ）：相当于胶状质。

板层Ⅲ、Ⅳ（lamina Ⅲ、Ⅳ）：相当于后角固有核。

板层Ⅰ～Ⅳ相当于后角尖至后角头，向上与三叉神经脊束核的尾端相延续，是皮肤外感觉（痛、温、触、压觉）的初级传入纤维终末和侧支的主要接受区，故属于外感受区。板层Ⅰ～Ⅳ发出纤维到节段内和节段间，参与许多复杂的多突触反射通路，以及发出上行纤维束到更高的平面。

板层Ⅴ（lamina Ⅴ）：位于后角颈部，除胸髓以外，都可分为内、外两部分。外侧部占 1/3，细胞较大，并与纵横交错的纤维交织在一起，形成网状结构，尤其在颈髓很明显形成网状核。内侧部占 2/3，与后索分界明显。

板层Ⅵ（lamina Ⅵ）：位于后角基底部，在颈、腰骶膨大处最发达，分内、外侧两部，内侧部含密集深染的中、小型细胞，外侧部由较大的三角形和星形细胞组成。

板层Ⅴ～Ⅵ接受后根本体感觉性初级传入纤维，以及自大脑皮质运动区、感觉区和皮质下结构的大量下行纤维，因此，这两层与调节运动有密切关系。

板层Ⅶ（lamina Ⅶ）：相当于中间带，在颈、腰膨大处，还伸向前角。胸核、中间内侧核和中间外侧核均位于此层。胸核仅存在于 C_8 ~ L_3 节段，中间外侧核存在于 T_1 ~ L_2（或 L_3）节段，中间内侧核分布于脊髓全长，在 S_2 ~ S_4 节段的外侧部还有骶副交感核。

板层Ⅷ（lamina Ⅷ）：由大小不等的细胞组成，在脊髓胸段，位于前角底部，在颈、腰膨大处仅限于前角内侧部。此层的细胞为中间神经元，接受邻近板层的纤维终末和一些下行纤维束（如网状脊髓束、前庭脊髓束、内侧纵束）的终末，发出纤维到第Ⅸ层，影响两侧的运动神经元，直接或通过兴奋 γ 运动神经元间接影响 α 运动神经元。

板层Ⅸ（lamina Ⅸ）：由 α 运动神经元、γ 运动神经元和中间神经元（闰绍细胞）组成。

板层Ⅹ（lamina X）：为中央管周围的中央，包括灰质连合。某些后根的纤维终于此处。

表4－1　脊髓灰质板层与核团的对应关系

板层	所在部位及对应的核团
Ⅰ	边缘核
Ⅱ	胶状质
Ⅲ、Ⅳ	后角固有核
Ⅴ	位于后角颈，含有网状核
Ⅵ	后角基底部
Ⅶ	中间带，含有胸核、中间内侧核，中间外侧核
Ⅷ	前角底部，在颈、腰膨大处，只占前角内侧部
Ⅸ	前角细胞
Ⅹ	中央灰质

（二）白质

每侧白质借脊髓的纵沟分为三个索：前正中裂与前外侧沟之间为前索（anterior funiculus）；前、后外侧沟之间为外侧索（lateral funiculus）；后外侧沟与后正中沟之间为后索（posterior funiculus）。在灰质连合的前方有纤维横越，称白质前连合（anterior white commissure），由左右交叉纤维组成（图4－4、7）。

脊髓的白质主要由许多纤维束组成，可分为短的固有束和长的上行、下行纤维束。

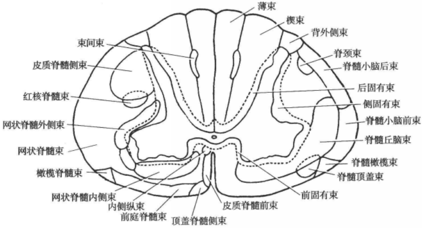


图4－7　脊髓颈膨大处各纤维束示意图

1. 固有束　固有束起止均在脊髓，位于白质最内侧紧靠脊髓灰质的边缘处（图4－7），由灰质各层中间神经元的轴突组成。这些神经元的轴突在同侧或对侧走出灰质，并分支形成升支和降支，在白质内上升或下降若干节段后再进入灰质，完成脊髓节段内或节段间反射活动。

2. 上行纤维束　又称感觉传导束，将不同的感觉信息上传到脑。由躯干和四肢传入的冲动都经脊神经后根传入脊髓，后根进入脊髓时分内、外侧两部分。内侧部纤维粗，沿后角

内侧部进入后索，它们的升支组成薄束、楔束，降支进入脊髓灰质。外侧部主要由细的无髓和有髓纤维组成，这些纤维进入脊髓上升或下降1~2节段，在胶状质背外侧聚成背外侧束（dorsolateral fasciculus，Lissauer束），从此束发出侧支或终支进入后角。后根外侧部的细纤维主要传导痛觉、温度觉和内脏感觉信息，内侧部的粗纤维主要传导本体感觉和精细触压觉。比较重要的上行传导束有：

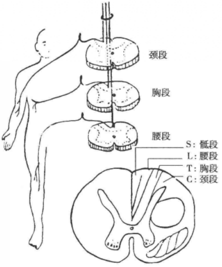


图4-8 薄束、楔束的构成

（1）*薄束*（fasciculus gracilis）*和楔束*（fasciculus cuneatus）（图4-7、8） 位于后索内，薄束位于后正中沟两侧，楔束在薄束外侧。这两个束是脊神经后根内侧部的粗纤维在同侧后索的直接延续。薄束来自同侧第5胸节以下的脊神经节细胞的中枢突，楔束来自同侧第4胸节以上的脊神经节细胞的中枢突。这些脊神经节细胞的周围突分别至躯干和四肢的肌、腱、关节和皮肤的感受器，中枢突经后根内侧部进入脊髓形成薄、楔束，在脊髓后索上行，止于延髓的薄束核和楔束核。薄束在第5胸节段以下占据后索的全部，在胸4以上只占据后索的内侧部，楔束位于后索的外侧部。由于薄、楔束的纤维是自骶、腰、胸、颈自下而上按顺序进入的，因此在后索中来自各节段的纤维有明确的定位。薄、楔束分别传导来自同侧下半身和上半身的肌、腱、关节和皮肤的本体感觉（即位置觉、运动觉和震动觉）和精细触觉（辨别物体纹理粗细和两点距离）信息。当脊髓后索病变时，本体感觉和精细触觉的信息不能向上传入大脑皮质，在病人闭目时，就不能确定自己肢体所处的位置，站立时身体摇晃倾斜，也不能辨别物体的性状、纹理粗细等。

（2）*脊髓小脑束* 包括脊髓小脑后束和脊髓小脑前束，分别位于脊髓外侧索的后部和前部（图4-7）。

①脊髓小脑后束（posterior spinocerebellar tract）：位于外侧索周边的后部，主要起自同侧板层Ⅶ的背核，但也有来自对侧背核经白质前连合交叉过来的少许纤维，上行经小脑下脚终于小脑皮质。由于背核位于胸髓和上腰髓，所以此束仅见于腰2以上脊髓节段。

②脊髓小脑前束（anterior spinocerebellar tract）：位于脊髓小脑后束的前方，主要起自腰骶膨大节段板层Ⅴ~Ⅶ层的外侧部，即相当于后角基底部和中间带的外侧部，大部分交叉至对侧上行，小部分在同侧上行，经小脑上脚进入小脑皮质。

此二束传递下肢和躯干下部的本体感觉和触压觉信息至小脑。后束传递的信息可能与肢体个别肌的精细运动和姿势的协调有关，前束所传递的信息则与整个肢体的运动和姿势有关。

（3）*脊髓丘脑束* 可分为脊髓丘脑侧束和脊髓丘脑前束（图4-7、9）。

①脊髓丘脑侧束（lateral spinothalamic tract）：位于外侧索的前半部，并与其邻近的纤维束有重叠，传递由后根细纤维传入的痛、温觉信息。

②脊髓丘脑前束（anterior spinothalamic tract）：位于前索、前根纤维的内侧，传递由后根粗纤维传入的粗触、压觉信息，有学者认为痒觉也由此束传导。

脊髓丘脑束主要起自脊髓灰质Ⅰ和Ⅳ～Ⅶ层，纤维经白质前连合在上一节对侧的外侧索和前索上行（但脊髓丘脑前束含有少部分不交叉的纤维），当上行至脑干下部时，脊髓丘脑前束加入内侧丘系，而脊髓丘脑侧束纤维形成脊髓丘系继续上行，二者均止于丘脑。脊髓丘脑束在脊髓有明确定位，即由外向内依次为骶、腰、胸、颈节的纤维。一侧脊髓丘脑束损伤时，对侧损伤平面1～2节以下的区域出现痛、温觉的减退或消失。

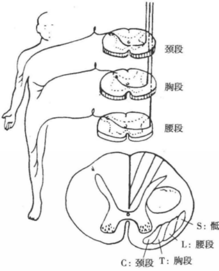


图4－9　脊髓丘脑束的构成

（4）脊髓网状束（spinoreticular tract）　位于外侧索，与脊髓丘脑束混杂在一起。起自脊髓各部的后角细胞，大部分纤维终止于脑干网状结构。脊髓网状纤维是种系发生的古老部分，是维持意识和醒觉状态的重要结构。

（5）脊髓顶盖束（spinotectal tract）　位于脊髓小脑前束内侧，脊髓丘脑侧束腹侧。起自对侧灰质深部板层，在脊髓前外侧部上升，终止于中脑上丘的深层及中央灰质外侧区。此传入冲动，是引起头颈转向刺激的来源（图4－7）。

（6）脊髓橄榄束（spinoolivary tract）　起于脊髓各节段灰质深部板层，大部纤维交叉，在对侧前索外侧部上升，终止于背侧、内侧副橄榄核，在此中继后投射至小脑。此束传导皮肤感觉和肌、腱的本体感觉（图4－7）。

3. 下行纤维束　又称运动传导束，将脑不同部位的神经冲动下传到脊髓。起自脑的不同部位，直接或间接止于脊髓前角或侧角的纤维束。功能为支配躯体和内脏活动，调节肌张力和参与脊髓反射等。主要包括皮质脊髓束、红核脊髓束、前庭脊髓束等（图4－7）。

（1）皮质脊髓束（corticospinal tract）　起源于大脑皮质中央前回和其他一些皮质区域，下行至延髓锥体，在锥体下部大部分纤维（约75%～90%）交叉至对侧的外侧索，称为皮质脊髓侧束；少量纤维不交叉，沿同侧前索下行，称皮质脊髓前束（图4－7）；另有少量不交叉的纤维在同侧外侧索的腹侧下行，称为前外侧皮质脊髓束（anterolateral corticospinal tract）。

①皮质脊髓侧束（lateral corticospinal tract）：在脊髓侧索后部下行，直达骶髓（约S_4），逐节终于同侧灰质板层Ⅳ～Ⅸ，来自额叶的纤维可以直接与外侧群的前角运动神经元（主

要是支配肢体远端小肌肉的运动神经元）相接触。此束内纤维排列由内向外，依次到颈、胸、腰、骶髓，支配颈部、上肢、躯干和下肢的骨骼肌运动。

②皮质脊髓前束（anterior corticospinal tract）：在前索最内侧下行，大多数纤维在白质前连合处交叉终于对侧前角细胞，部分纤维始终不交叉而终止于同侧前角。此束仅存在于脊髓中胸部以上，主要支配上肢肌和颈肌。

上述两种纤维的行径和终止情况表明，脊髓前角运动神经元主要接受对侧大脑半球的纤维，但也接受来自同侧的少量纤维。支配上、下肢的前角运动神经元只接受对侧半球来的纤维，而支配躯干肌的运动神经元接受双侧皮质脊髓束的支配。当脊髓一侧的皮质脊髓束损伤后，出现同侧肢体的肌肉瘫痪，而躯干肌不瘫痪。

（2）红核脊髓束（rubrospinal tract）：位于皮质脊髓侧束的前方，起自中脑红核，发出的纤维立即交叉至对侧，在脊髓外侧索内下行，至板层Ⅴ～Ⅷ，仅投射至上3个颈髓段（图4－7）。此束对支配屈肌的运动神经元有较强兴奋作用，并可抑制伸肌活动。它与皮质脊髓束一起对肢体远端肌肉运动发挥重要影响。

（3）前庭脊髓束（vestibulospinal tract）　位于前索外侧部（图4－7），起于前庭神经外侧核，止于同侧灰质板层Ⅶ和部分板层Ⅷ。此束主要兴奋同侧躯干和肢体的伸肌，抑制屈肌，在调节身体平衡中起作用。

（4）网状脊髓束（reticulospinal tract）　起自脑桥和延髓的网状结构（图4－7），大部分在同侧下行，行于白质前索和外侧索前内侧部，止于板层Ⅶ、Ⅷ。此束主要参与对躯干和肢体近端肌肉运动的控制。

（5）顶盖脊髓束（tectospinal tract）　位于前索（图4－7），起自对侧中脑上丘，终止于上颈髓段板层Ⅵ～Ⅷ。它兴奋对侧颈肌，抑制同侧颈肌活动。

（6）内侧纵束（media longitudinal fasciculus）　位于前索（图4－7），一些纤维起自中脑中介核、后连合核和Darkschewitsch核以及网状结构，大部分来自前庭神经核。此束的纤维主要来自同侧，部分来自对侧，终于灰质板层Ⅶ、Ⅷ，经中继后再达前角运动神经元。其作用主要是协同眼球的运动和头、颈部的运动。

四、脊髓的功能

脊髓无论在结构上和功能上都比较原始，正常时，脊髓的功能是在脑的调节和控制下完成的。脊髓具有传导和反射功能。

1. 传导功能　脊髓是感觉和运动神经冲动的重要传导通路。脊髓白质内的上行和下行的长纤维束是完成这一功能的结构基础。躯干和四肢的浅、深感觉冲动和部分内脏感觉冲动由上行的纤维束传到脑；脑发出的冲动也要经过脊髓的下行纤维束传到脊髓，调节躯干、四肢的骨骼肌及部分内脏活动。

2. 反射功能　脊髓除可完成传导功能外，还是一些躯体、内脏的低级反射中枢，如牵张反射的低级中枢就在脊髓（图4－10）。牵张反射包括深反射和肌张力，肌张力是肌张力反射的简称，是姿势反射的基础，对维持身体的姿势十分重要。人体在安静状态时，骨骼肌仍不松弛，始终有部分肌纤维轮流轻度收缩，使肌肉经常保持一定的紧张度。虽然脊髓在脱

离脑的高级中枢的条件下还可执行一些简单的躯体反射和内脏反射，但脊髓的反射是受脑的下行传导束的控制。如当脑或下行的传导束发生病变时，脊髓的牵张反射失去了高位中枢的控制，其兴奋性增强，出现深反射亢进、肌张力增高。所以无论脊髓本身病变还是脑或下行传导束的病变，均可影响脊髓的反射。由于牵张反射弧结构简单，所涉及的中枢只有脊髓一两个节段，反应的肌肉只限于直接被牵拉的肌肉，所以临床常利用深反射作为神经系统定位诊断的依据之一。如膝反射消失或减弱，病变可能在脊髓第2~4腰节，若膝反射亢进，病变的最低节段在第2~4腰节以上。

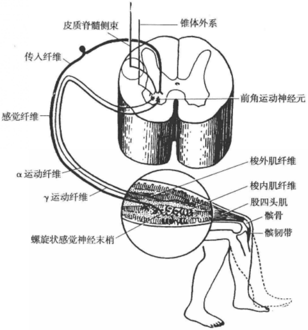


图4-10　牵张反射弧

五、脊髓损伤

（一）脊髓灰质损伤

表现为节段性障碍。

1. 前角病变　可引起这些细胞所支配的骨骼肌出现周围性瘫痪，无感觉障碍，多见于脊髓前角灰质炎。

2. 后角病变　产生患侧节段性痛、温度觉障碍，但触觉和深感觉仍存在（分离性感觉障碍）。

（二）白质前连合损伤

产生两侧节段性的痛、温度觉障碍，而触觉和深感觉存在。

（三）白质传导束损伤

1. 一侧后索的薄束、楔束损伤　引起损伤平面以下的同侧肢体意识性本体觉及精细触觉障碍。

2. 一侧外侧索的皮质脊髓侧束损伤　引起损伤平面以下的同侧肢体中枢性瘫痪。

3. 一侧外侧索的脊髓丘脑侧束损伤　引起损伤平面下1~2节段以下的对侧皮肤痛、温度觉障碍。

（四）脊髓横断性损伤

当脊髓突然完全横断后，使脊髓与脑的高级中枢中断了联系，不仅使病灶平面以下全部感觉和运动丧失，而且在急性期出现病灶平面以下肌张力降低，躯体反射消失，内脏反射也不存在，即外周血管扩张、血压下降、无汗、尿潴留、无病理反射等，处于无反应状态，称脊髓休克（spinal cord shock）。当数周或数月后，各种反射可逐渐恢复，但由于传导束很难再生，脊髓失去了脑的控制，因此恢复后的深反射和肌张力比正常时高，离断平面以下的感觉和运动不能恢复。

1. 颈膨大以上颈髓损伤 出现四肢中枢性瘫痪，膈肌麻痹，损伤平面及其以下全部感觉消失。

2. 颈膨大损伤 出现损伤平面及其以下全部运动、感觉丧失，上肢为周围性瘫痪，下肢为中枢性瘫痪。

3. 胸髓损伤 上肢不受影响，下肢呈中枢性瘫痪，受损平面及其以下感觉障碍（图4－11）。

4. 腰骶膨大损伤 上肢不受影响，下肢呈周围性瘫痪，受损平面及其以下感觉障碍（图4－11）。

（五）脊髓半横断损伤

出现以下症状（图4－12）：

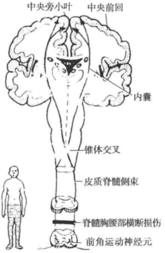


图4－11 脊髓胸部横断性损伤

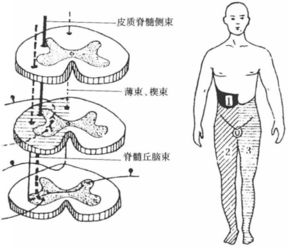


图4－12 脊髓胸段半侧损伤

1. 损伤平面以下的同侧肢体中枢性瘫痪（一侧皮质脊髓束受损）；
2. 损伤平面以下同侧肢体的深感觉和精细触觉缺失（一侧后索薄束、楔束损伤）；
3. 损伤平面以下1～2节段以下对侧身体痛、温度觉缺失（一侧脊髓丘脑束受损）；
4. 损伤节段同侧周围性瘫痪和感觉障碍、反射消失（损伤节段灰质受损）；

5. 两侧粗触觉仍保存（粗触觉可经两侧脊髓丘脑束及薄束、楔束传导）。

（六）马尾综合征（马尾损伤）

马尾损伤与腰骶膨大损伤的症状相似，但由于马尾走行颇长，病变部位不同，临床表现也有所差异。

1. 上部马尾综合征（第2腰节以下损伤）　整个下肢及会阴部出现下运动神经元损伤症状，膝反射、跟腱反射、跖反射、肛门反射均消失，但提睾反射及下腹壁反射均正常；整个下肢及会阴部均有感觉缺失，从腹股沟区至整个下肢、会阴部根痛明显；由于破坏了直肠、膀胱的传入传出神经，发生便秘、尿潴留、阳痿等内脏神经功能障碍。

2. 中部马尾综合征（第5腰节以下损伤）　坐骨神经支配的肌肉出现瘫痪，屈膝及足运动出现障碍，患者直立行走困难；跟腱反射、跖反射、肛门反射消失，但膝反射、下腹壁反射、提睾反射均正常；臀后、大腿及小腿后面感觉缺失，根痛沿坐骨神经走行放散；膀胱、直肠及性功能障碍同上。

3. 下部马尾综合征（第3骶节以下损伤）　仅会阴部肌肉瘫痪，肛门反射消失，其他如下腹壁反射、提睾反射等均正常；感觉障碍出现在臀内侧、肛门、会阴部，即所谓马鞍区感觉缺失，根痛也在出现在这些部位；膀胱、直肠及性功能障碍同上。

第二节　脊　神　经

一、概述

脊神经（spinal nerves）共31对：颈神经8对，胸神经12对，腰神经5对，骶神经5对，尾神经1对。第1～7对颈神经在相应椎骨上方的椎间孔出椎管，第8对颈神经在第7颈椎与第1胸椎之间的椎间孔出椎管。胸、腰神经均分别在同序数椎骨下方的椎间孔穿出。第1～4对骶神经在相应的骶前、后孔穿出。第5对骶神经和尾神经由骶管裂孔穿出。

每对脊神经都是由前根和后根在椎间孔处合并而成。脊神经的前根属运动性，它除含有躯体运动纤维外，在第1胸神经至第3腰神经前根内含有交感神经纤维，第2～4骶神经前根内含有副交感纤维。脊神经后根属感觉性，它除含有躯体感觉纤维外，在胸、腰上部及第2～4骶神经后根内还含有内脏感觉纤维。所以每对脊神经都是混合性的，均含有4种纤维成分（图4－13）：

1. 躯体感觉纤维　来自脊神经节的假单极神经元，其中枢突形成脊神经后根进入脊髓，周围突形成脊神经的躯体感觉成分，分布于躯干和四肢的皮肤、骨骼肌、腱和关节，将浅感觉和深感觉的冲动传入中枢。

2. 内脏感觉纤维　也来自脊神经节的假单极神经元，其中枢突形成脊神经后根进入脊髓，周围突分布于心、血管、内脏和腺体，将来自这些结构的感觉冲动传入中枢。

3. 躯体运动纤维　来自于前角运动神经元，支配躯干和四肢的骨骼肌运动。

4. 内脏运动纤维　来自于侧角细胞及骶副交感神经元，支配平滑肌、心肌的运动和控

制腺体的分泌。

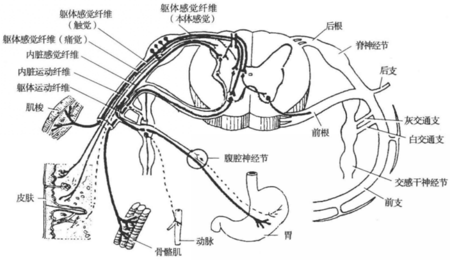


图4－13　脊神经的纤维成分

二、脊神经的分支

脊神经干很短，出椎间孔后立即分为脊膜支、交通支、后支、前支（图4－14）。

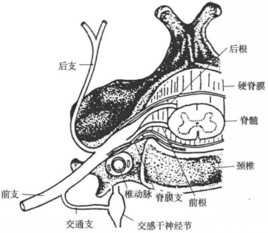


图4－14　颈神经出椎间孔后的分支

（一）脊膜支

脊膜支（meningeal branch）为一极小的支，在脊神经分为前支与后支之前发出，然后再经椎间孔返回，入椎管。在椎管内，各脊膜支又分为较大的升支和较小的降支，并相互吻合形成脊膜前丛与脊膜后丛，分布于脊髓被膜、椎骨、椎间盘、纤维环、韧带、骨膜、血管壁。上3对颈神经延伸入颅后窝的硬脑膜。脊膜支内含有来自脊神经节的感觉纤维，并有细支与最邻近的交感干神经节相连。

（二）交通支

交通支（communicating branch）为连接脊神经与交感干之间的细支。其中发自脊神经连于交感干的为白交通支，由交感干连于脊神经的称为灰交通支。

（三）后支

后支（posterior branches），除第1、第2颈神经的较粗大外，其余各脊神经的后支均较相应的前支细而短，呈节段性地分布于枕、项、背、腰、臀部的皮肤及脊柱两侧深部的肌肉。主要分支有（图4－15）：

1. 枕下神经（suboccipital nerve）　为第1颈神经的后支，较前支大，于寰椎后弓的椎动脉沟内，椎动脉的下方发出。分支支配枕部周围的肌肉。枕下神经一般属于运动神经，但有时亦发皮支，分布于项上部与颅后下部的皮肤。

2. 枕大神经（greater occipital nerve）　为第2颈神经的后支，为颈神经后支中最粗大者。穿斜方肌腱至皮下，除支配枕项部皮肤外，还分支支配枕部周围肌肉。

由于伏案工作、过度劳累或枕部受凉常引起枕神经痛，所累及的神经主要为枕下神经和枕大神经，临床表现为一侧枕部及上项部疼痛，并向头顶、项部和耳后放射。枕部疼痛多为阵发性，每日发作数次或数十次，间歇期正常，也有持续性疼痛，阵发性加剧。枕神经痛属中医“后头痛”，治疗除辨证用药外，针灸、推拿也是常用的疗法。

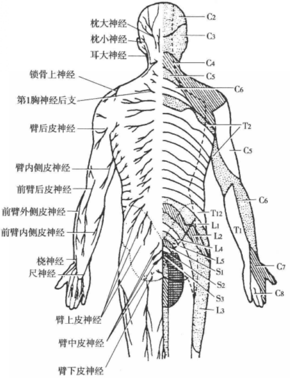


图4－15　脊神经后支的皮支

3. 第3枕神经（third occipital nerve）　为第3颈神经的后支，分布到枕外隆凸附近的皮肤。此神经位于枕大神经内侧，与枕大神经之间有交通支相连。

4. 臀上皮神经（superior cluneal nerves）　为第1～3腰神经的后支，在髂嵴上方、竖脊肌外侧缘穿出达皮下，分布于臀上部皮肤。

5. 臀中皮神经（middle cluneal nerves）　为第1～3骶神经的后支，穿臀大肌达皮下，分布于臀中部的皮肤。

（四）前支

前支（anterior branches），除第1、第2颈神经的前支较小外，一般都较后支粗大；除胸神经前支保持明显的节段性外，颈、腰、骶、尾神经的前支，互相交织成丛，由丛再发出

分支分布于相应的区域。脊神经前支形成了颈丛、臂丛、腰丛和骶丛四个丛。

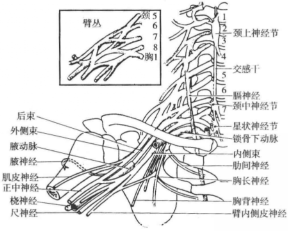


图4－16　颈丛、臂丛

1. 颈丛　颈丛（cervical plexus）（图4－16）由第1～4颈神经的前支组成，位于胸锁乳突肌上部的深面，发出至皮肤的皮支和至肌的肌支。

（1）皮支　皮支均在胸锁乳突肌后缘中点附近穿出（图4－17），行向各方，其穿出部位是颈部皮肤浸润麻醉的一个阻滞点。主要皮支有：

①枕小神经（lesser occipital nerve）（C_2）：沿胸锁乳突肌后缘上行，分布于枕部及耳郭背面上部的皮肤。

②耳大神经（great auricular nerve）（C_2、C_3）：沿胸锁乳突肌表面向耳垂方向上行，分布于耳郭及附近皮肤。

③颈横神经（transverse nerve of neck）（C_2、C_3）：也称颈皮神经，发出后横过胸锁乳突肌表面向前行，分布于颈部皮肤。常与面神经有交通支。

④锁骨上神经（supraclavicular nerves）（C_3、C_4）：有2～4支行向下外方，分布于颈下外侧区及胸壁上部和肩部的皮肤。

（2）肌支　膈神经（phrenic nerve）（C_3、C_4）是颈丛中最重要的分支，经胸廓上口入胸腔，沿肺根前方，心包的两侧，下降至膈（图4－18）。膈神经的运动纤维支配膈肌，感觉纤维主要分布到胸膜、心包和膈下的部分腹膜。右侧膈神经的感觉纤维还分布到肝和胆囊表面的腹膜等处。

一侧膈神经损伤可引起同侧膈肌瘫痪，导致腹式呼吸减弱，严重者有窒息感。膈神经受刺激可发生呃逆。肝胆疾病患者可出现右肩

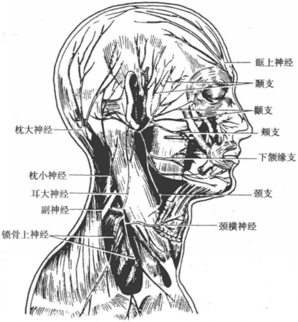


图4－17　颈丛的皮支

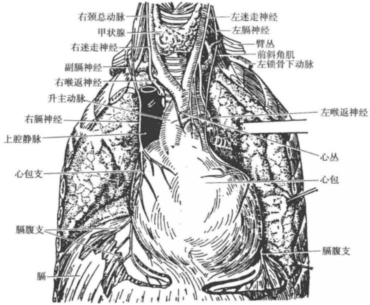


图4－18　膈神经

痛，这与膈神经受到刺激有关，是为牵涉痛。

颈丛与其他神经之间还存在一些交通支，包括颈丛与副神经、迷走神经和交感神经之间的交通支等。

2. 臂丛　臂丛（brachial plexus）由第5～8颈神经的前支与第1胸神经前支的大部分所组成（图4－16）。臂丛的神经根经颈根部，行于锁骨下动脉的后上方，然后经锁骨后方入腋窝。因此臂丛以锁骨为界，分为锁骨上部和锁骨下部。锁骨上部分支多为短的肌支，分布于颈、胸壁及背部的肌肉。锁骨下部围绕腋动脉分为位于腋动脉外侧的外侧束，位于腋动脉内侧的内侧束和位于腋动脉后方的后束，由束再发出分支。臂丛的主要分支如下：

（1）胸长神经（long thoracic nerve）（C_5～C_7）　发自锁骨上部，行于胸廓侧面，沿前锯肌表面下降，分支支配前锯肌（图4－19）。此神经损伤，前锯肌瘫痪，出现“翼状肩”。

（2）肩胛上神经（suprascapular nerve）（C_5、C_6）　发自锁骨上部，有50%的情况有第4颈神经的纤维参加。位于臂丛的上侧，向上外方行，经斜方肌及肩胛舌骨肌的深方，至肩胛骨上缘，然后转至冈上窝、冈下窝（图4－20）。该神经发出分支，支配冈上肌、冈下肌及肩关节。当损伤时冈上肌、冈下肌瘫痪并萎缩，肱骨头不全脱位，肩外展、外旋无力。

（3）胸外侧神经（lateral pectoral nerve）（C_5～C_7）　又称胸前神经外侧支。发自臂丛外侧束，此神经发出后跨过腋动、静脉的前方，穿胸小肌，分布于胸大肌。

（4）胸内侧神经（medial pectoral nerve）（C_8～T_1）　也称胸前神经内侧支。发自臂丛

内侧束，在腋动、静脉之间弯曲向前，与胸外侧神经所发的分支结合，分支支配胸小肌及胸大肌下部。

上述两神经支配胸大肌和胸小肌，如损伤出现胸肌瘫痪，上肢内收无力，病侧手摸不到对侧肩胛骨。

（5）胸背神经（thoracodorsal nerve）（$C_6 \sim C_8$） 起自臂丛后束，沿肩胛骨腋缘下降，至背阔肌。胸背神经在乳癌根治术中较易损伤，损伤后出现上肢后伸无力症状。

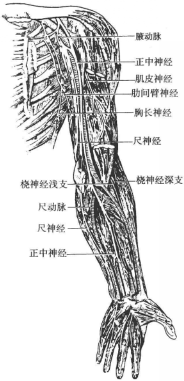


图 4－19 上肢前面的神经

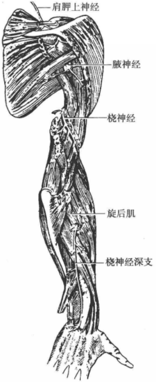


图 4－20 上肢后面的神经

（6）肌皮神经（musculocuteneous nerve）（$C_5 \sim C_7$） 发自臂丛外侧束，行向下外，至肱二头肌深面，发出肌支，支配肱二头肌、喙肱肌、肱肌（图 4－19）。其皮支沿肱二头肌外侧沟下行，在肘关节的稍上方，穿出深筋膜，下降于前臂，称为前臂外侧皮神经（lateral antebrachial cutaneous nerrve），分布于前臂外侧的皮肤。

肌皮神经单独损伤很少，常与尺神经和正中神经损伤同时发生。肌皮神经损伤主要表现为屈肘无力，前臂旋后力减弱，前臂外侧皮肤感觉减弱。

（7）正中神经（median nerve）（$C_6 \sim T_1$） 由起自臂丛内、外侧束的两根合成，两根夹持腋动脉向下呈锐角汇合成正中神经干，沿肱二头肌内侧沟伴肱动脉下行至肘窝（图 4－19）。从肘窝向下继续在前臂正中下行，位于指浅、深屈肌之间达腕部。正中神经在桡侧腕

屈肌腱和掌长肌腱之间进入腕管，经掌腱膜深面到达手掌。

正中神经在臂部一般无分支，在肘部及前臂发许多肌支，支配除肱桡肌、尺侧腕屈肌和指深屈肌尺侧半以外的所有前臂屈肌、旋前肌以及附近关节。在手区正中神经外侧缘发出一粗短的返支，进入鱼际，支配拇短展肌、拇短屈肌、拇对掌肌及第1、2蚓状肌。正中神经还发出皮支支配手掌桡侧2/3区、桡侧3个半手指掌面及这3个半指背面末两节的皮肤（图4－21、23）。

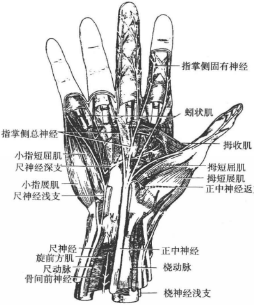


图4－21　手掌侧面的的神经

正中神经的体表投影：自肱二头肌内侧沟上端肱动脉搏动点开始，向下至肱骨内、外上髁间线中点稍内侧，再由此向下至腕掌侧横纹中点。

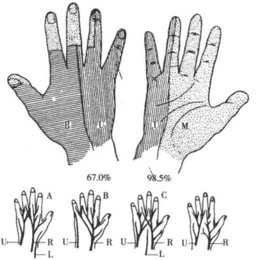
正中神经在前臂和腕部易受损伤。在前臂，正中神经主干损伤后，运动障碍表现为前臂不能旋前，屈腕力减弱，拇指、示指和中指不能屈曲，拇指不能对掌；因鱼际肌萎缩，而手掌平坦，称“猿手”（图4－24）。感觉障碍以手掌桡侧半和桡侧3指末节最为明显。若正中神经在腕部损伤（常见腕管综合征），表现为鱼际肌萎缩，手掌平坦，拇指、示指、中指掌面感觉障碍。



图4－22　手背侧神经

（8）尺神经（ulnar nerve）（C_8、T_1）发自臂丛内侧束，伴肱动脉沿肱二头肌内侧沟下行，至臂中部转向后下，经肱骨内上髁后方的尺神经沟，再转至前臂前内侧，在尺侧腕屈肌和指深屈肌间在尺动脉内侧下行，于豌豆骨外侧入手掌（图4－19）。

尺神经在臂部未发分支，在前臂上部发肌支支配尺侧腕屈肌和指深屈肌尺侧半，入手掌后发出深支支配小鱼际肌、拇收肌、骨间掌侧肌、骨间背侧肌及第3、4蚓状肌。尺神经发出皮支分布于手掌尺侧1/3区和尺侧一个半手指的皮肤；在手背，分布于尺侧



注：U. 尺神经；R. 桡神经；M. 正中神经；L. 前臂外侧皮神经
A 占 2%；B 占 4.5%；C 占 12.5%；D 占 67%

图 4－23　手皮肤的神经分布及变异

1/2 区和两个半手指皮肤（图 4－19、21、22）。

尺神经的表面投影：自胸大肌下缘肱动脉始端搏动点开始至肱骨内上髁后方，再由此至豌豆骨外侧的连线。

尺神经常易受损伤部位在肘部肱骨内上髁后方，尺神经干受损时，运动障碍表现为屈腕力减弱，尺侧一个半手指远节指关节不能屈曲，小鱼际萎缩，拇指不能内收，骨间肌萎缩，各指不能互相靠拢，各掌指关节过伸，出现“爪形手”。手掌、手背内侧缘皮肤感觉丧失。若尺神经和正中神经同时受损伤，鱼际肌和小鱼际肌、骨间肌、蚓状肌均萎缩，整个手掌变得平坦，类似“猿手”（图 4－23、24）。

（9）桡神经（radial nerve）（C_5、T_1）是臂丛后束发出的粗大神经（图 4－20）。经肱三头肌深面紧贴肱骨体中部后面，沿桡神经沟旋向下外行，在肱骨外上髁前方分为浅、深两终支。

桡神经在臂部发出的分支有：

①皮支：分布于臂后部、臂下外侧部及前臂后面皮肤。

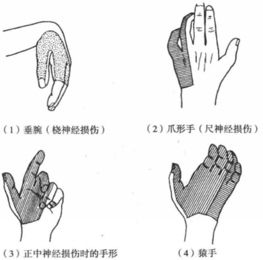
②肌支：支配肱三头肌、肘肌、肱桡肌和桡侧腕长伸肌。

桡神经终支：

①桡神经浅支（superficial branch）：也为皮支，与桡动脉伴行，在前臂中、下 1/3 交界处转向背侧，分布于手背桡侧半和桡侧两个半手指近节背面的皮肤及关节（图 4－23）。

②桡神经深支（deep branch）：较粗大，主要为肌支，穿过前臂背侧，在前臂浅、深伸肌之间下行，沿途分支支配前臂伸肌群、尺桡远侧关节、腕关节和掌骨间关节（图4－20）。

桡神经的表面投影：自腋后襞下缘外



（1）垂腕（桡神经损伤）　（2）爪形手（尺神经损伤）

（3）正中神经损伤时的手形　（4）猿手

图 4－24　桡、尺、正中神经损伤的时的手形

端与臂交点处，斜过肱骨后方，至肱骨外上髁的连线为桡神经干投影。

当肱骨干中部或中、下1/3交界处骨折时易损伤桡神经，表现为不能伸腕和伸指，不能旋后，抬前臂时呈“垂腕”状；第1、2掌骨间背面皮肤感觉障碍明显。当桡骨颈骨折时，可损伤桡神经深支，主要表现为伸腕力弱、不能伸指（图4-24）。

（10）*腋神经*（axillary nerve）（C_5、C_6）　起自臂丛后束，绕肱骨外科颈至三角肌深面，肌支支配三角肌、小圆肌、肩关节（图4-20）。皮支分布于肩部、臂外侧区上部的皮肤，称为臂外侧上皮神经。

当肩关节脱位或肱骨外科颈骨折时易损伤腋神经，腋神经损伤后，由于三角肌瘫痪，上肢不能外展，肩部失去圆隆状态而成方形。

（11）*臂内侧皮神经*（medial brachial cutaneous nerve）（C_8、T_1）　发自臂丛内侧束，分布于臂内侧皮肤。

此神经损伤时臂内侧皮肤分布区出现疼痛或感觉过敏。

（12）*前臂内侧皮神经*（medial antebrachial cutaneous nerve）（C_8、T_1）发自臂丛内侧束。开始在腋动、静脉之间，继而沿肱动、静脉之间下行，在臂中部与贵要静脉共同穿深筋膜，分前后两支分布于前臂内侧皮肤。损伤时出现分布区感觉障碍。

3. 胸神经前支　胸神经前支共12对（图4-25）。除第1对的大部分和第12对的一少部分分别参加臂丛和腰丛外，其余均不成丛。第1至第11对各自位于相应的肋间隙中，称肋间神经（intercostal nerves），第12对胸神经前支位于第12肋下方，故名肋下神经（subcostal nerve）。肋间神经沿肋沟行于肋间内、外肌之间，肋间血管的下方，自上而下按静脉、动脉、神经的次序并列。在腋前线附近离开肋骨下缘，行于肋间隙中，并在胸腹壁侧面发出外侧皮支，其本干继续前行。上6对肋间神经分布于肋间肌、胸壁皮肤和壁胸膜，下5对肋间神经和肋下神经斜向下内，行于腹内斜肌与腹横肌之间，并进入腹直肌鞘，在腹白线附近传出至皮下。其除分布于相应的肋间肌、胸壁皮肤和壁胸膜外，还分布于腹前外侧群肌，腹壁的皮肤以及腹膜壁层。

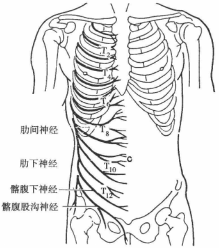


图4-25　胸神经前支

4. 腰丛（lumbar plexus）　由第12胸神经前支的一部分、第1至第3腰神经前支和第4腰神经前支的一部分组成，位于腰大肌深面（图4-26），除发出肌支支配髂腰肌和腰方肌外，还发出下列主要分支：

（1）*髂腹下神经*（iliohypogastric nerve）（T_{12}、L_1）　自腰大肌外侧缘穿出后，于腰方肌前面行向外下，在髂嵴上方进入腹内斜肌和腹横肌之间行入腹前壁，在腹股沟管浅环上方穿腹外斜肌腱膜至皮下（图4-25、26）。其皮支分布于腹股沟区及下腹部皮肤，肌支支配

下腹壁肌肉。

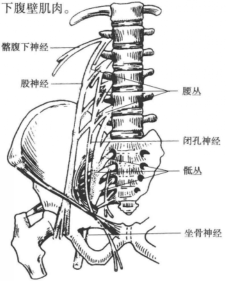


图 4－26　腰骶丛组成模式图

（2）髂腹股沟神经（ilioinguinal nerve）（L_1）　在髂腹下神经的下方，与其平行（图 4－25）。进入腹股沟管伴精索或子宫圆韧带出腹股沟管浅环。肌支支配下腹壁肌，皮支分布于腹股沟区、阴囊或大阴唇皮肤。

髂腹下神经和髂腹股沟神经是腹股沟部的主要神经，在腹股沟疝修补术中，应避免损伤此二神经。

（3）股外侧皮神经（lateral femoral cutaneus nerve）（$L_{2,3}$）　自腰大肌外缘走出，斜越髂肌表面，达髂前上棘内侧，经腹股沟韧带深面至大腿外侧部的皮肤（图 4－27）。股外侧皮神经在穿越腹股沟韧带深处为一狭窄管道，常由于活动或体位不当受到牵拉、挤压；或周围组织损伤形成瘢痕卡压等引起股外侧皮神经卡压症。临床出现股外侧皮肤麻木，针刺或烧灼样疼痛，行走时加重，休息后缓解；或出现该区感觉减退或过敏。

（4）生殖股神经（genitofemoral nerve）（$L_{1,2}$）　自腰大肌前面穿出后，在该肌浅面下降（图 4－27）。皮支分布于阴囊（大阴唇）、股部及其附近的皮肤。肌支支配提睾肌，为提睾反射的传入和传出神经，精索静脉曲张时，提睾反射减弱或消失。

（5）股神经（femoral nerve）（L_{2-4}）　是腰丛中最大的神经（图 4－28），在腰大肌与髂肌之间下行，经腹股沟韧带深面、股动脉外侧至大腿前面股三角，随即分为数支：

①肌支：支配耻骨肌、股四头肌和缝匠肌。

②皮支：有数条较短的前皮支，分布于大腿和膝关节前面的皮肤。股神经最长的皮支称隐神经（saphenous nerve），与大隐静脉伴行，分布于小腿内侧面和足内侧缘的皮肤（图 4－27、28）。

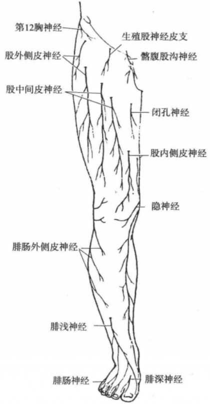


图 4－27　下肢的皮神经

股神经损伤后，由于股四头肌瘫痪，屈髋无力，不能伸膝，膝跳反射消失，走路时呈假跨阈步态，并常用手固定病侧下肢；大腿前面和小腿内侧面皮肤感觉障碍。

（6）闭孔神经（obturalor nerve）（L_{2-4}）　自腰丛发出后，于腰大肌内侧缘穿出，沿小骨盆侧壁前行，穿闭孔至大腿内侧（图 4－27、28）。肌支支配大腿内收肌群的长收肌、短收肌、大收肌、股薄肌。皮支分布于大腿内侧面的皮肤。

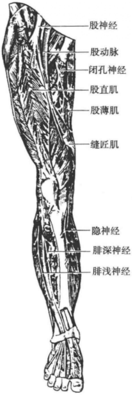


图 4－28　下肢前面的神经

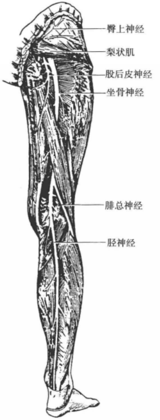


图 4－29　下肢后面的神经

5. 骶丛（sacral plexus）（L_4、L_5、S_{1-5}、Co_1）　由第 4 腰神经前支的余部和第 5 腰神经前支以及全部骶神经和尾神经的前支组成。骶丛位于盆腔内，在骶骨及梨状肌前面（图 4－26）。骶丛除直接发出许多短小的肌支支配梨状肌及盆膈的肌肉外，还发出以下主要分支：

（1）臀上神经（superior gluteal nerve）（L_{4-5}、S_1）　伴臀上动、静脉经梨状肌上孔出盆腔，行于臀中、小肌间，支配臀中、小肌和阔筋膜张肌（图 4－29）。

臀上神经损伤时表现为大腿不能外展、内旋力弱，大腿呈外旋位。患者用患肢站立时，站立不稳，骨盆和身体均向健侧倾斜。

(2) 臀下神经 (inferior gluteal nerve) (L_5, $S_{1,2}$) 伴臀下动、静脉经梨状肌下孔出盆腔，达臀大肌深面，支配臀大肌。

臀下神经损伤，臀大肌瘫痪，伸大腿无力，从坐位起立、跑步、跳跃、上楼均很困难，臀部隆起消失。

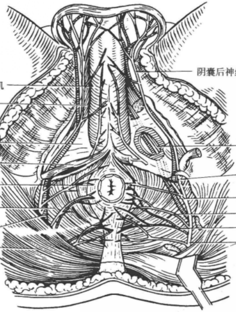


图 4-30 阴部神经

(3) 阴部神经 (pudendal nerve) (S_{2-4}) 伴阴部内动、静脉出梨状肌下孔，绕坐骨棘经坐骨小孔入坐骨肛门窝 (图 4-30)，分支分布于会阴部和外生殖器的肌和皮肤。其主要分支有：

①肛神经 (anal nerves)：分布于肛门外括约肌及肛门部的皮肤。

②会阴神经 (perineal nerves)：分布于会阴诸肌和阴囊或大阴唇的皮肤。

③阴茎背神经 (dorsal nerve of penis)：走在阴茎的背侧，主要分布于阴茎的皮肤。女性为阴蒂背神经 (dorsal nerve of clitoris)。

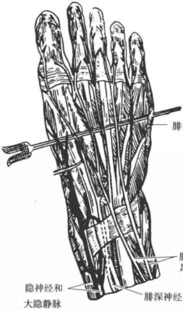
(4) 股后皮神经 (posterior femoral cutaneous nerve) (S_{1-3}) 出梨状肌下孔，至臀大肌下缘浅出 (图 4-29)，主要分布于股后部和腘窝的皮肤。

(5) 坐骨神经 (sciatic nerve) ($L_{4,5}$, S_{1-3}) 是全身最粗大的神经，经梨状肌下孔出盆腔，在臀大肌深面，经坐骨结节与股骨大转子之间至大腿后面，在股二头肌深面下降，常在腘窝上方分为胫神经和腓总神经 (图 4-29)。坐骨神经干在大腿后部发出肌支支配大腿后群肌。

坐骨神经的体表投影：自坐骨结节与大转子之间的中点至股骨内、外侧髁之间中点的连线的上 2/3 段为坐骨神经干的投影。坐骨神经痛时，在此连线及分支上均有明显压痛。



（1）足底神经



（2）足背神经

图4－31　足的神经

①胫神经（tibial nerve）（$L_{4,5}$，$S_{1\sim3}$）：为坐骨神经本干的直接延续。在腘窝内与腘血管伴行，在小腿经比目鱼肌深面伴胫后动脉下降（图4－29），过内踝后方至足底，分为足底内侧神经（medial plantar nerve）和足底外侧神经（lateral planter nerve）（图4－31）。胫神经分支主要支配小腿后群肌和足底肌、小腿后面和足底的皮肤。

胫神经还发出腓肠内侧皮神经，伴小隐静脉下行，在小腿下部与腓肠外侧皮神经（发自腓总神经）吻合成腓肠神经，经外踝后方弓形向前，分布于足背和小趾外侧缘的皮肤。

胫神经损伤的主要运动障碍是足不能跖屈，内翻力弱，不能以足尖站立。由于小腿前外侧群肌过度牵拉，致使足呈背屈及外翻位，出现"钩状足"畸形，感觉障碍区主要在足底面（图4－31、32）。

②腓总神经（common peroneal nerve）（$L_{4,5}$，$S_{1,2}$）：自坐骨神经发出后，沿股二头肌内侧向外下行，绕腓骨颈至小腿前面，分为腓浅和腓深神经（图4－29）。

腓浅神经（superficial peroneal nerve）（图4－28）在小腿外侧群与前群肌之间下行，分出肌支支配腓骨长、短肌，在小腿中、下1/3交界处穿出为皮支，分布于小腿外侧面下部、足背和第2～5趾背侧皮肤。

腓深神经（deep peroneal nerve）（图4－28）在小腿肌前群之间与胫前动脉相伴下行，发出肌支支配小腿前群肌和足背肌，皮支分布于第1、2趾背面相对缘的皮肤。



（1）“钩状足”　（2）“马蹄”内翻足

图4－32　足的神经损伤后足畸形

腓总神经在腓骨颈处位置表浅，易受损伤。损伤后的主要表现为足不能背屈，足下垂并内翻，呈“马蹄”内翻足畸形，行走时呈“跨阈步态”；感觉障碍在小腿前外侧面下部和足背（图4－32）。

由于梨状肌与坐骨神经的关系密切，当梨状肌发炎、损伤、肿胀等病变时而导致坐骨神经受到刺激、压迫引起腰腿痛，临床上称梨状肌综合征。主要临床表现为：腰臀部或一侧臀部疼痛或酸胀感，梨状肌部位疼痛明显；疼痛沿坐骨神经放射至大腿后部、小腿后外侧；咳嗽、打喷嚏时无放射痛；坐骨神经刺激征，直腿抬高试验阳性。坐骨神经痛时，坐骨神经本干及其分支均有明显的压痛点。

第三节　脊髓的节段性支配

一、脊髓对肌肉的节段性支配

脊髓分为31个节段，每一节段的前角发出的躯体运动纤维，经相应的前根和脊神经，支配躯体一定部位的肌运动。脊髓对肌的节段性支配，概括地说，第1颈节到第4颈节支配颈肌及膈肌；第5颈节到第1胸节支配上肢肌；第2胸节到第1腰节支配躯干肌；第2腰节到第2骶节支配下肢肌；第3骶节到第5骶节及尾节主要支配会阴肌。每块肌多数由相邻几个节段共同支配，故单一节段损伤常不引起明显的运动障碍，只会导致有关功能减退。躯干和四肢主要肌的节段性支配见表4－2。

表4－2　脊髓对主要肌的节段性支配

肌　肉	神经丛	周围神经	脊髓节段
斜方肌		副神经	C_{2-4}
背阔肌	臂丛	胸背神经	C_{6-8}
胸大肌	臂丛	胸内、外侧神经	C_{5-8}
膈　肌	颈丛	膈神经	C_{3-5}
三角肌	臂丛	腋神经	C_{5-6}
肱二头肌	臂丛	肌皮神经	C_{5-6}
肱三头肌	臂丛	桡神经	C_{6-8}

（续表）

肌　肉	神经丛	周围神经	脊髓节段
肋间肌、腹壁肌	胸神经前支	肋间神经和肋下神经	$T_{1\sim12}$
股四头肌	腰丛	股神经	$L_{2\sim4}$
小腿三头肌	骶丛	胫神经	$L_5\sim S_2$

二、脊髓对皮肤的节段性支配

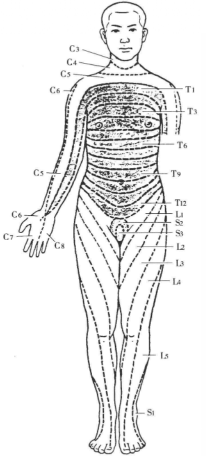


图 4－33　皮肤的节段性神经支配（前面）

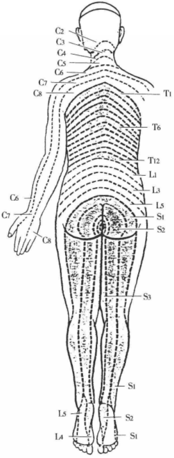


图 4－34　皮肤的节段性神经支配（后面）

脊髓分为 31 个节段，每一节段的后角，通过相应的后根及脊神经的传入纤维，管理躯体一定部位的皮肤感觉。脊髓对皮肤的节段性支配，以躯干部最为典型，自背侧中线至腹侧中线较有规律地形成连续横行的环带。例如第 2 胸段支配胸骨角平面皮肤，第 4 胸段支配（男性）乳头平面皮肤，第 6 胸段支配剑突平面皮肤，第 10 胸段支配脐平面皮肤（图 4－

33、34，表4－3）。了解皮肤的节段性支配，有助于对脊髓损伤的定位诊断。

表4－3　　脊髓对皮肤的节段性支配

皮肤区域	脊髓节段	皮肤区域	脊髓节段
枕部及颈部	C_2	季肋部平面	T_8
颈部及肩部	$C_{3\sim4}$	脐平面	T_{10}
臂外侧面	C_5	耻骨部及腹股沟部平面	$T_{12}\sim L_1$
前臂和手的外侧面	$C_{6\sim7}$	大腿前面	$L_{2\sim3}$
手和前臂的内侧面	$C_8\sim T_1$	小腿内、外侧面和足的内侧半	$L_{4\sim5}$
臂内侧面，腋窝及胸骨角平面	T_2	足外侧半和大、小腿后面	$S_{1\sim3}$
乳头平面（男性）	T_4	会阴部	$S_{4\sim5}$
剑突平面	T_6		

第五章　脑和脑神经

第一节　脑

脑（brain or encephalon）位于颅腔内，外覆三层被膜，新鲜时质地柔软。脑的重量介于1200～1500g之间，平均重1360g。我国成年人，男性平均重1375.3g，女性平均重1305.14g，约占体重的1/50～1/40。脑的重量虽然男女有别，个体有差异，但这并不是判断聪明和愚笨的依据。

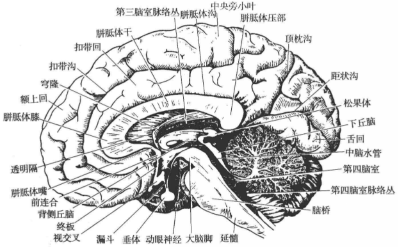


图5－1　脑的正中矢状切面

根据脑的发生、发育及其功能，脑分为六部分：端脑、间脑、中脑、脑桥、延髓和小脑（图5－1）。通常把中脑、脑桥和延髓合称为脑干。

一、脑干

脑干（brain stem）位于颅底内面的斜坡上，自下而上由延髓、脑桥和中脑三部分组成。

延髓为脑干的下部，平枕骨大孔处与脊髓相接；宽大的中部为脑桥；上部缩窄的部分为中脑，其前上方接间脑。

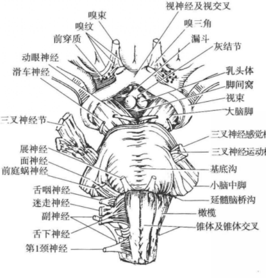


图5-2　脑干的腹面

脑干是大脑、小脑与脊髓之间联系的干道，第3~12对脑神经自上而下依次与脑干相连。

（一）脑干的外形

1. 延髓（medulla oblongata）　延髓居脑的最下部，形似倒置的圆锥体，全长约3cm（图5-1、2、3、4）。上端的腹侧以横行的延髓脑桥沟（bulopontine sulcus）与脑桥为界，背侧以菱形窝中部横行的髓纹与脑桥为界；下端平枕骨大孔处以第1颈神经根与脊髓为界。延髓可分为上下两部：上部较粗大，内腔向背侧开放，形成第四脑室的下部，故称开放部；下部较窄细，内腔闭合为延髓中央管，称为闭合部。由于延髓是脊髓向上的延续，所以脊髓表面的6条纵行沟裂均向上延续到延髓。

延髓腹侧面：前正中裂两侧各有一纵行隆起，称为锥体（pyramid）。锥体仅在哺乳类动物存在，内含皮质脊髓束纤维。在延髓下端，锥体内纤维大部分交叉至对侧，形成锥体交叉（decussation of pyramid）。在锥体的外侧有一卵圆形隆起为橄榄（olive），内藏下橄榄核。橄榄和锥体之间有舌下神经根出脑。在橄榄的背侧自上而下依次有舌咽、迷走和副神经根出入脑。

延髓背侧面：上部中央管敞开构成菱形窝的下部；下部在后正中沟两侧薄束和楔束向上延伸，分别扩展为膨隆的薄束结节（gracile tubercle）和楔束结节（cuneate tubercle），深面分别有薄束核和楔束核。在楔束结节的外上方有隆起的小脑下脚（inferior cerebellar peduncle），又称绳状体（restiform body）

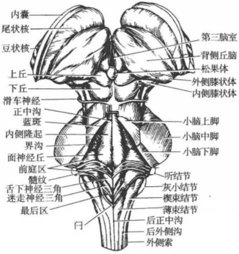


图5-3　脑干的背面

2. 脑桥（pons）　人类的脑桥最发达，腹面借延髓脑桥沟、背面以髓纹与延髓分界，

上缘以菱脑峡与中脑为界（图5－1、2、3、4）。

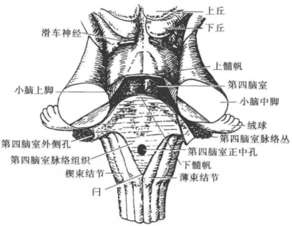


图5－4　脑干背面（示第四脑室顶）

脑桥腹侧面：宽阔膨隆，称脑桥基底部（basilar part of pons）。延髓脑桥沟中由内向外侧依次有展神经、面神经及前庭蜗神经根。基底部中央有纵行的基底沟（basilar sulcus），其内容纳基底动脉。基底部向背外侧逐渐缩窄，移行为小脑中脚（middle cerebellar peduncle），小脑中脚又称脑桥臂（brachium pontis），由脑桥进入小脑的纤维组成。基底部与脑桥臂的交界处有粗大的三叉神经根。延髓、脑桥和小脑的交界处有一凹窝，临床上称为脑桥小脑三角（pontocerebellar trigone），面神经和前庭蜗神经根恰位于此三角。因此该部位的肿瘤可能压迫其周围的脑神经和小脑，产生相应症状，形成特有的综合征。

脑桥背侧面：形成第四脑室底的上部，此处室底的外侧壁为左、右小脑上脚（superior cerebellar peduncle），又称结合臂（brachium conjunctivum），是连接小脑与中脑的纤维束。两结合臂之间为上髓帆（superior medullary velum），形成第四脑室顶。在小脑上脚腹外侧，位于小脑上脚外侧缘、下丘臂与中脑外侧沟之间的三角区称丘系三角（trigonum lemnisci），其深面为外侧丘系。脑桥与中脑的移行部缩窄，称菱脑峡（rhombencephalic isthmus），它包括小脑上脚、丘系三角和上髓帆。

3. 第四脑室（fourth ventricle）　是位于延髓、脑桥与小脑之间的腔隙（图5－1、4）。向上连通中脑水管，向下与脊髓中央管相接，底为菱形窝，顶朝向小脑，内有脑脊液。

第四脑室的底即菱形窝（rhomboid fossa），由延髓上部和脑桥的背面共同构成（图5－3）。其上外侧界为小脑上脚，下外侧界自内下向外上依次为：薄束结节、楔束结节和小脑下脚。窝的外侧角与背侧小脑之间为第四脑室外侧隐窝（lateral recess of fourth ventricle）。两外侧角与中线之间的横行纤维束为髓纹（striae medullares），内含皮质脑桥小脑纤维，是延髓与脑桥在背侧面的分界标志。在菱形窝的正中线上有纵贯其全长的正中沟（median sulcus），将菱形窝分为左右两部分。正中沟的两侧有与之平行的纵行界沟（sulcus limitans）。界沟外侧部的三角形区域称前庭区（vestibular area），深面有前庭神经核。前庭区的外侧角上有一小隆起，称听结节（acoustic tubercle），深面有蜗神经核。在新鲜标本上，界沟上端有一呈蓝灰色的小区域，称蓝斑（locus ceruleus），深面有含色素的去甲肾上腺素能神经元。界沟与正中沟之间的内侧部称内侧隆起（medial eminence），内含内侧纵束。内侧隆起以髓纹为界又分上、下两部。在髓纹上方的内侧隆起上有一圆形隆起，称面神经丘（facial colliculus），深面有面神经膝（genu of facial nerve）和展神经核。髓纹以下的延髓部可见两个小三

角区：靠内上方为舌下神经三角（hypoglossal triangle），深面有舌下神经核；靠外下方的为迷走神经三角（vagal triangle），内含迷走神经背核；菱形窝下缘与迷走三角之间的窄带，称最后区（area postrema）。此区富含血管和神经胶质，但无血脑屏障。最后区是催吐反应的化学感受区，破坏此区催吐反应消失。菱形窝的下端形似笔尖，故名写翮（calamus scriptorius）。

第四脑室的顶的前部由小脑上脚及上髓帆构成，顶的后部由下髓帆（inferior medullary velum）和第四脑室脉络组织（tela choroidea of fourth ventricle）构成。上、下髓帆均为薄层白质板，两者以锐角会合，伸入小脑。第四脑室脉络组织由室管膜（ependyma）、软膜及其表面的血管组成。脉络组织的部分血管反复分支成丛，夹带着软膜和室管膜上皮突入室腔，形成第四脑室脉络丛（choroid plexus of fourth ventricle）。

第四脑室脉络组织上有3个孔，位于菱形窝下角正上方的称第四脑室正中孔（median aperture of fourth ventricle），位于第四脑室外侧隐窝尖端的称第四脑室外侧孔（lateral apertures of fourth ventricle），又称Luschka孔。第四脑室借这3个孔与蛛网膜下隙相通。第四脑室正中孔的下方，张于两侧薄束结节之间的薄层白质称闩（obex），是延髓呼吸中枢的表面标志。

4. 中脑（mesencephalon or midbrain） 位于间脑与脑桥之间，长约10～20mm（图5－1、2、3）。上界以视束与间脑为界，下以菱脑峡与脑桥为界，其中间管腔为中脑水管（mesencephalic aqueduct）。

中脑腹侧面：有一对粗大的纵行隆起，称大脑脚（cerebral peduncles），内有大量锥体束纤维通过。两大脑脚之间的凹陷为脚间窝（interpeduncular fossa），窝底称后穿质（posterior perforated substance），有许多血管出入的小孔。大脑脚的内侧有动眼神经根出脑。

中脑背侧面：有两对圆形隆起，上方的一对称为上丘（superior colliculus），下方的一对称为下丘（inferior colliculus），二者合称为四叠体（corpora quadrigemina）或中脑顶盖（tectum of midbran）。在下丘的下方有滑车神经出脑，这是唯一由脑干背面穿出的脑神经。连接上丘与外侧膝状体之间的隆起，称为上丘臂（brachium of superior colliculus），连接下丘与内侧膝状体之间的条状隆起，称为下丘臂（brachiun of inferior colliculus）。

（二）脑干的内部结构

脑干的内部与脊髓一样，也是由灰质和白质构成，但较脊髓复杂。脑干内的灰质被穿行于其间的纤维束分隔成大小不等的灰质团块或短柱，称神经核。这些神经核又分为两类：一类与第3～12对脑神经相连，称脑神经核；另一类不与脑神经直接相连，称非脑神经核。脑干内的白质主要由上、下行纤维束构成。此外，脑干的内部还有明显的网状结构。

1. 脑神经核

（1）脑神经核的性质和分类　脑神经核是直接与第3～12对脑神经相连的核团，可分为感觉核和运动核。感觉核是接受脑神经传入纤维的终止核，传入纤维的胞体（除Ⅰ、Ⅱ对外）都位于脑神经节；运动核是发出脑神经传出纤维的起始核。感觉核分为躯体感觉核和内脏感觉核，运动核分为躯体运动核和内脏运动核。感觉核和运动核又有一般和特殊之分，因此脑神经核共有7种不同性质的核团（图5－5、表5－1）。

①躯体运动核（general somatic motor nucleus）：相当于脊髓前角运动核，发出纤维支配自肌节衍化的骨骼肌，即舌肌和眼球外肌。

②特殊内脏运动核（special visceral motor nucleus）：发出纤维支配由鳃弓衍化的骨骼肌，即咀嚼肌、面部表情肌、软腭和咽喉肌等。

③一般内脏运动核（general visceral motor nucleus）：相当于脊髓骶副交感核，发出纤维支配头颈、胸腹部的平滑肌、心肌和腺体。

④一般内脏感觉核（general visceral afferent nucleus）：相当于脊髓的中间内侧柱，接受内脏和心血管的初级感觉传入纤维。

⑤特殊内脏感觉核（special visceral afferent nucleus）：接受味觉传入纤维。

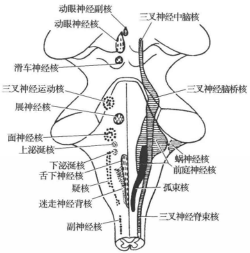


图5-5　脑神经核在脑干背面的投影

⑥一般躯体感觉核（general somatic afferent nucleus）：相当于脊髓后角Ⅰ～Ⅵ层，接受头面部皮肤及口、鼻腔黏膜等的初级感觉传入纤维。

⑦特殊躯体感觉核（special somatic afferent nucleus）：接受内耳听觉和平衡觉传入纤维。

（2）脑神经核的位置与功能　脑神经核在脑干内是有规律地排列，功能相同的脑神经核排列成纵行的细胞柱，称为脑神经核功能柱。同一功能柱的脑神经核在脑干内是连续的或不连续的，但它们在脑干内占有相对恒定的位置，并有一定的排列关系。以延髓橄榄中部横切面为例（图5-6）：感觉柱位于界沟的外侧，运动柱位于界沟的内侧；与内脏运动和感觉

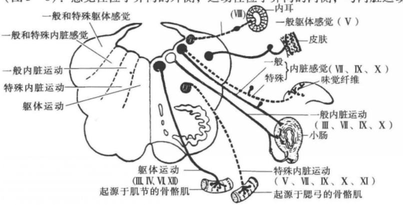


图5-6　延髓橄榄中部水平切面

相关的功能柱分别位于靠近界沟的内、外侧，而与躯体相关的功能柱均离界沟较远。它们这种排列关系在脑干不同平面大致相当。由于一般内脏和特殊内脏感觉核均是孤束核，其上部接受特殊内脏感觉（味觉）纤维，下部接受一般内脏感觉纤维，因此，每侧脑干可分为7种不同性质的核团，6种不同性质的功能柱。

1）躯体运动核柱：包括4个核团，自上而下依次为：动眼神经核、滑车神经核、展神经核及舌下神经核。

①动眼神经核（oculomotor nucleus）：位于中脑上丘阶段，中央灰质的腹侧，正中线两旁，内侧纵束的背侧（图5-5、16）。动眼神经核由成对的外侧核和夹在两外侧核中间尾侧1/3的中央尾侧核构成。外侧核支配同侧的下直肌、内直肌和下斜肌，对侧的上直肌；中央尾侧核支配双侧提上睑肌。动眼神经核发出纤维向腹侧，经大脑脚底的内侧出脑干，组成动眼神经的一般躯体运动纤维。

②滑车神经核（trochlear nucleus）：位于中脑下丘阶段，中央灰质的腹侧，内侧纵束的背侧。该核发出的纤维向后绕中央灰质，于前髓帆内左右交叉，在脑干背面出脑（图5-5、15）。其纤维构成滑车神经，支配对侧上斜肌。

③展神经核（abducens nucleus）：位于脑桥中下部，菱形窝的面神经丘深面。该核发出的纤维向腹侧构成展神经，在脑桥延髓沟中部出脑（图5-5、12），支配同侧外直肌。该核还含有一种核间神经元（internuclear neurons）至对侧，支配对侧内直肌，使一侧的外直肌与另一侧的内直肌在眼球水平方向上能够做同向协调运动。故展神经核损伤，除出现患侧外直肌麻痹，也使对侧内直肌在向患侧水平凝视时不能收缩，以致双眼不能向患侧凝视。

④舌下神经核（hypoglossal nucleus）：位于延髓上部，菱形窝的舌下神经三角深面。舌下神经核所发出的躯体运动纤维组成舌下神经根丝，在前外侧沟出脑（图5-5、10、11），支配同侧的全部舌内肌和舌外肌。

2）特殊内脏运动核柱：位于一般躯体运动核的腹外侧，包括4个核团，自上而下依次为：三叉神经运动核、面神经核、疑核和副神经核（图5-5）。

①三叉神经运动核（motor nucleus of trigeminal nerve）：位于脑桥中部，三叉神经脑桥核的腹内侧，网状结构的背外侧（图5-5、13）。该核接受双侧皮质核束、三叉神经中脑核、内侧纵束等纤维传入。其发出的纤维行向腹外侧，构成三叉神经运动根，加入下颌神经，支配咀嚼肌、二腹肌前腹、下颌舌骨肌、腭帆张肌和鼓膜张肌。

②面神经核（facial nucleus）：位于脑桥下部，展神经核的腹外侧区，介于疑核上端与展神经核的中下部平面之间（图5-5、12）。面神经核是人类最发达的脑神经核，这与人类语言和表情活动有关。自面神经核发出的面神经纤维，先向背内侧至第四脑室底，靠近中线并稍上升，先后绕过展神经核的内侧、背侧和颅侧形成面神经膝（genu of facial nerve），再由展神经核的外侧向腹外侧，并稍下降，经面神经核外侧，在延髓脑桥沟出脑，构成面神经运动根（图5-12），支配面肌、颈阔肌、二腹肌后腹、茎突舌骨肌和镫骨肌。由于面神经膝绕过展神经核，故外直肌病变伴面神经损伤时，常意味病灶在展神经核周围。

③疑核（nucleus ambiguus）：位于延髓橄榄上1/3部至内侧丘系交叉平面，居三叉神经脊束核和下橄榄核之间的网状结构中（图5-5、11）。其发出的轴突自上而下依次加入舌咽神

经、迷走神经和副神经根。疑核上端发出纤维加入舌咽神经，支配茎突咽肌。疑核发出的大部分纤维加入迷走神经支配软腭肌、咽喉肌和食管上部的骨骼肌。其下端发出的纤维构成副神经脑根，经颈静脉孔出颅后加入迷走神经，并随其分支支配咽喉肌。疑核接受皮质核束、孤束核、三叉神经脊束核、网状结构等纤维传入，参与吞咽反射、咳嗽反射、作呕反应等活动。

④副神经核（accessory nucleus）：位于锥体交叉中部水平至第5或6颈髓节段的前角后外侧（图5-5、9），发出的纤维在颈髓上部的侧面，脊神经前、后根之间浅出，在椎管内上行，汇成副神经脊髓根，经枕骨大孔入颅。副神经脊髓根成为副神经，支配胸锁乳突肌和斜方肌。

3）一般内脏运动核柱：位于躯体运动核的外侧，靠近界沟。包括4个核团，自上而下依次为：动眼神经副核、上泌涎核、下泌涎核和迷走神经背核（图5-5）。此4核与脊髓骶副交感核均属副交感神经的低级中枢。

①动眼神经副核（accessory oculomotor nucleus）：又称 Edinger-Westphal 核，较小，位于上丘上部平面，动眼神经核的背内侧（图5-5、16）。此核接受视束-顶盖前区纤维，发出副交感节前纤维，加入动眼神经，由脚间窝出脑，至眶内的睫状神经节交换神经元（简称换元）。由该节发出的副交感节后纤维小部分支配眼球瞳孔括约肌，大部分支配睫状肌。

②上泌涎核（superior salivatory nucleus）：位于脑桥下部，面神经核尾侧部背外侧的网状结构内（图5-5）。该核发出的副交感节前纤维，加入中间神经，由面神经分支至翼腭神经节和下颌下神经节，换元后司泪腺、舌下腺和下颌下腺的分泌。

③下泌涎核（inferior salivatory nucleus）：位于延髓橄榄上部，迷走神经背核附近的网状结构内（图5-5）。该核发出的副交感节前纤维加入舌咽神经，至耳神经节，换元后司腮腺的分泌。

④迷走神经背核（dorsal nucleus of vagus nerve）：位于延髓内侧丘系交叉至橄榄中部平面，菱形窝的迷走神经三角深面，在舌下神经核的背外侧，孤束核的腹内侧，较舌下神经核长（图5-5、10、11）。该核发出的副交感节前纤维构成迷走神经最重要的纤维成分，经其分支到达它所支配效应器的器官旁节或器官内节，换元后支配头颈部和胸腹腔大部分脏器的平滑肌、心肌运动及腺体分泌。

4）内脏感觉核柱：由孤束核（nucleus of solitary tract）构成（图5-5）。该核位于迷走神经背核的背外侧，大部分在延髓，小部分在脑桥下端。在内侧丘系交叉平面，两侧孤束核下端在中央管背侧会合（图5-5、11）。此核的周围为孤束（solitary tract），孤束是来自面神经、舌咽神经和迷走神经的特殊内脏感觉（味觉）纤维和一般内脏感觉纤维，在延髓背侧部聚集而成纵行的纤维束。孤束核的上端为接受孤束味觉纤维的特殊内脏感觉核，又称味觉核（gustatory nucleus），其余大部为接受一般内脏感觉纤维的一般内脏感觉核。孤束核是脑内传递味觉冲动和其他内脏感觉信息的第一级中继站，参与介导味觉分辨、血压整合、呼吸和胃肠运动及内分泌和自主神经系的功能调节等。

5）一般躯体感觉核柱：位于内脏感觉核的腹外侧（图5-5），自上而下依次为：三叉神经中脑核、三叉神经脑桥核和三叉神经脊束核。三叉神经中脑核的功能是接受头面部本体感受器传入的本体感觉。三叉神经脑桥核和脊束核是结构与功能上互相联系的复合体，主要接受来自面部皮肤、眼、牙和口、鼻腔黏膜的初级一般躯体感觉纤维的终止。二者在与外周

初级传入的联系上，既有分工，又有广泛的联系。

①三叉神经中脑核（mesencephalic nucleus of trigeminal nerve）：属于感觉神经元。位于三叉神经脑桥核上端至上丘平面，室周灰质和中央灰质的外侧边缘。三叉神经中脑核相当于感觉神经节，是外周的初级假单极感觉神经元胞体聚集于中枢神经系之内的特殊现象。其内侧为蓝斑核，外侧为该核假单极神经元周围突与中枢突构成的三叉神经中脑束（图5－5、14、15）。三叉神经中脑核神经元周围突随三叉神经运动根出脑，分布于咀嚼肌、牙及下颌关节等，传导本体感觉冲动，其中枢突传递至三叉神经脑桥核背内侧部、脊束核颅侧亚核背内侧部及附近网状结构，继而经丘脑腹后内侧核传至大脑皮质，其侧支至三叉神经运动核完成单突触的咀嚼肌牵张反射。

②三叉神经脑桥核（pontine nucleus of trigeminal nerve）：又称三叉神经感觉主核。位于脑桥中部，被盖外侧区，介于三叉神经中脑核与三叉神经脊束核之间，内侧邻三叉神经运动核（图5－5、14）。该核功能主要与头面部皮肤及口腔的触压觉有关，亦接受部分传递痛觉的细纤维。

③三叉神经脊束核（spinal nucleus of trigeminal nerve）：位于延髓和脑桥下部的外侧区，上端与三叉神经脑桥核相接，下端在1、2颈髓节段与后角相续。该核的外侧邻三叉神经脊束（spinal trigeminal tract）（图5－5、9～12）。三叉神经脊束是由三叉神经进入脑桥的下行纤维与来自面神经、舌咽神经和迷走神经的一般躯体及一般内脏感觉纤维合成，大部分为传导痛、温觉的细纤维，小部分为传递触觉的粗纤维，二者均终止于三叉神经脊束核。三叉神经脊束核主要接受硬脑膜、眼、头面部皮肤、口鼻腔黏膜和牙等痛、温觉，也接受一部分触觉。

6）特殊躯体感觉核柱：位于内脏感觉核外侧，延髓与脑桥下部相交平面，菱形窝前庭区的深面。由蜗神经核和前庭神经核组成。

①蜗神经核（cochlear nuclei）：由蜗背侧核和蜗腹侧核组成，分别位于小脑下脚的背外侧和腹外侧，听结节深面（图5－5、12）。蜗背侧核和蜗腹侧核均接受来自内耳螺旋神经节细胞中枢突，即经脑桥小脑三角进入的初级听觉纤维。蜗神经核发出的二级听觉纤维大部分在脑桥背、腹部之间，穿越内侧丘系交叉至对侧，这些交叉的纤维称斜方体（trapezoid body）。斜方体的纤维在脑桥中上段折向上，在内侧丘系的外侧，成为外侧丘系（lateral lemniscus）。蜗神经核发出的小部分纤维不交叉，直接上行，参加外侧丘系的组成。蜗神经核发出的二级听觉纤维既可直接参加外侧丘系的组成，也可至听觉通路的其他中继核（上橄榄核和外侧丘系核），再由中继核发出三、四级听觉纤维，在外侧丘系上行，将每一侧耳的听觉冲动传递至双侧下丘及听觉中枢。

②前庭神经核（vestibular nuclei）：是一个核群（图5－5、12），位于脑桥延髓交界处前庭区的深面，可分为前庭内侧核（medial vestibular nucleus of Schwable）、前庭外侧核（lateral vestibular nucleus of Deiter）、前庭上核（superior vestibular nucleus）和前庭下核（inferior vestibular nucleus）。

前庭下核位于小脑下脚内侧的前庭区；前庭外侧核位于前庭神经入脑处前庭区的外侧部，介于前庭下核上端与三叉神经运动核下端平面之间；前庭内侧核位于前庭下核与外侧核的内侧，介于舌下神经核上端与展神经核下端平面之间；前庭上核为前庭内、外侧核上端向

上的延伸（图6－6）。

前庭神经核除接受前庭神经传入的平衡觉纤维外，还接收小脑、网状结构和脊髓等处的纤维。其发出的纤维联系十分广泛，主要至小脑和脑神经、脊神经的运动核，以调节身体平衡。前庭神经核与小脑有往返联系，是小脑传入和传出通路的重要中继站。

眼球震颤：为两侧眼球的一种不随意、有节律的同向往返运动，属皮质下反射活动。眼球震颤可分为快相和慢相两种动作。慢相为两侧眼球缓慢地移向某一方向的动作；快相则为继慢相之后两侧眼球迅速恢复原来位置的动作。临床上常以眼球运动的快相命名眼球震颤。这种两眼同向运动是一侧眼外直肌与另一侧眼的内直肌同时收缩而形成的。眼球震颤是由于旋转运动刺激了半规管的壶腹嵴，产生的神经冲动经前庭神经传至前庭神经核群，再由前庭神经核群发出纤维经内侧纵束至动眼神经核和展神经核，引起相应的眼外肌收缩，产生眼球震颤的慢相运动。眼球震颤的快相运动可能是大脑皮质兴奋后对眼球位置的矫正动作，但其神经通路不甚清楚。

当伤及内耳前庭系统、脑干及小脑均可出现病理性眼球震颤。

表5－1　　脑神经核的类别、位置和功能

类别	脑神经核名称	位置阶段	功　能
躯体运动核	动眼神经核	中脑	支配上直肌、下直肌、内直肌、下斜肌和提上睑肌
	滑车神经核	中脑	支配上斜肌
	展神经核	脑桥	支配外直肌
	舌下神经核	延髓	支配舌肌
特殊内脏运动核	三叉神经运动核	脑桥	支配咀嚼肌、二腹肌前腹、下颌舌骨肌、腭帆张肌、鼓膜张肌
	面神经核	脑桥	支配面部表情肌、颈阔肌、二腹肌后腹、茎突舌骨肌和镫骨肌
	疑核	延髓	支配咽喉肌、软腭肌、食管上部的骨骼肌
	副神经核	脊髓上5颈节前角背侧部	支配胸锁乳突肌和斜方肌
一般内脏运动核	动眼神经副核	中脑	支配睫状肌和瞳孔括约肌
	上泌涎核	脑桥	支配泪腺、下颌下腺和舌下腺的分泌
	下泌涎核	延髓	支配腮腺的分泌
	迷走神经背核	延髓	支配胸腹腔脏器平滑肌、心腺、腺体
特殊内脏感觉核	孤束核上部	脑桥下端	接受味觉
一般内脏感觉核	孤束核大部	延髓	接受胸腹腔脏器的一般内脏感觉
一般躯体感觉核	三叉神经中脑核	中脑	可能接受头面部的本体觉
	三叉神经脑桥核	脑桥	接受面部皮肤和口、鼻腔黏膜等的一般感觉
	三叉神经脊束核	脑桥和延髓	

（续表）

类别	脑神经核名称	位置阶段	功　能
特殊躯体感觉核	前庭神经核	脑桥和延髓	接受内耳的平衡觉冲动
	蜗神经核		接受内耳的听觉冲动

2. 非脑神经核　非脑神经核是脑干内与脑神经没有直接联系的神经核，通常作为上、下行纤维的中继站，与各级脑部或脊髓有广泛的联系。

（1）*薄束核*（gracile nucleus）与*楔束核*（cuneate nucleus）　位于延髓背侧面下部的薄束结节和楔束结节的深面，接受来自脊髓上行的薄束和楔束的纤维（图5－9、10）。它们发出的纤维绕过中央灰质形成内弓状纤维，并在中央管腹侧的中线上左右交叉，称内侧丘系交叉（decussation of medial lemniscus）。交叉后的纤维在中线两侧上行，形成内侧丘系，终止于背侧丘脑。薄束核和楔束核是传导躯干和四肢意识性本体觉和精细触觉冲动的中继性核。

（2）*下橄榄核*（inferior olivary nucleus）　位于橄榄的深面，锥体的背外侧（图5－11），是由下橄榄主核（principal olivary nucleus）、背侧副橄榄核（dorsal accessory olivary nucleus）和内侧副橄榄核（medial accessory olivary nucleus）组成的复合体。下橄榄主核在水平切面上呈袋口向内皱缩囊袋形的灰质团块，在人类主核最发达。背侧副橄榄核位于主核背侧，内侧副橄榄核位于主核内侧。下橄榄核只发出至对侧小脑的橄榄小脑纤维，此纤维与脊髓小脑后束共同组成粗大的小脑下脚。下橄榄核除接受来自脊髓全长的脊髓橄榄束和前庭神经的传入外，还接受来自大脑皮质、上丘、基底核、红核和顶盖前区等的下行投射纤维。下橄榄核可能是大脑皮质、红核等和小脑之间的重要中继站，参与小脑对运动的控制的修饰及小脑对运动的学习记忆和对反射的修饰。

（3）*上橄榄核群*（superior olivary complex）　位于内侧丘系的背外侧，面神经核的腹内侧，自脑桥下部延至脑桥中部（图5－13）。是由较集中的内、外侧上橄榄核和斜方体核等亚核组成。上橄榄核是听觉传导通路的重要中继核之一，也是听反射中枢的一部分。主要接受来自双侧蜗神经核的纤维，发出的上行纤维除加入双侧外侧丘系外，还止于脑干的运动核，如展神经核、面神经核等，与蜗神经核共同参与声源的方向定位等，借以完成声响引起的各种反射。

（4）*外侧丘系核*（nucleus of lateral lemniscus）　自脑桥中下部至中脑尾侧。该核分布于外侧丘系纤维中，接受上橄榄外侧核及外侧丘系侧支的终止，发出的上行纤维越至对侧加入外侧丘系。

（5）*脑桥核*（pontine nuclei）　是大量分散存在于脑桥基底部纵横纤维之间大小不等的神经元群（图5－13、14）。它们接受来自同侧大脑皮质广泛区域，特别是运动前区、第一躯体运动区、第一躯体感觉区和高级躯体感觉皮质（第5区）的皮质脑桥纤维。发出的脑桥小脑纤维大部分越过中线，构成粗大的小脑中脚进入对侧小脑。脑桥核是传递大脑皮质运动信息至小脑的主要中继站，参与大脑—小脑—大脑环路的构成。

（6）*蓝斑*（locus ceruleus）　为一复合体，包括蓝斑核（nucleus ceruleus）和蓝斑下核（subceruleus nucleus）。蓝斑核位于脑桥上半部，菱形窝界沟上端的深面（图5－8、14），蓝斑下核位于蓝斑核的腹外侧。蓝斑主要由含去甲肾上腺素能神经元组成，约占脑内去甲肾上

腺素能神经元总数的一半。其纤维联系极为广泛，上达大脑皮质，下至脊髓末端。其功能是多方面的：参与调节躯体和内脏的运动和感觉；影响下丘脑的神经内分泌活动；维持觉醒状态及镇痛调节等。

（7）下丘（inferior colliculus）　位于中脑下部背侧，由深方的中央核（central nucleus）及其周边的薄层灰质构成（图5－15）。中央核主要接受外侧丘系的终止纤维，其传出纤维经下丘臂到达双侧的内侧膝状体，但以同侧为主。下丘是听觉传导通路上的重要中继站，其分层结构具有对音频定位的功能。

（8）上丘（superior colliculus）　位于中脑上部背侧（图5－16），是数层灰、白质相互交替排列的分层结构，是一个相当分化的脑区。上丘浅层和深层的功能不同，其浅层仅与视觉有关，接受和发出与视觉有关的纤维。上丘的深层不仅与视觉有关，而且与听觉、躯体感觉、躯体运动系统有联系，接受来自听觉中枢、下丘、三叉神经脊束核和脊髓等处的投射，对不同的感觉信息进行整合；发出纤维至大脑皮质、与眼肌运动有关的运动核及脊髓颈髓节段前角细胞等，完成由视觉、听觉引起的转眼转头反射活动。上丘是重要的皮质下感觉运动整合器。

（9）顶盖前区（pretectal region）　位于中脑和间脑的交界处，上丘的腹侧，中央灰质的背外侧，部分与上丘相连。该区由若干神经核团构成，接受视束、上丘、视觉皮质等纤维。传出纤维止于双侧动眼神经副核，完成瞳孔直接和间接对光反射。顶盖前区不仅是瞳孔对光反射中枢，而且参与眼调节反射。

（10）红核（red nucleus）　位于中脑上丘平面，黑质的背内侧（图5－16）。为一对卵圆形核团，新鲜时因富有血管略呈粉红色。红核由小细胞部和位于尾侧的大细胞部组成。动物的大细胞部发达，人的小细胞部相当发达，几乎占红核全部。红核的纤维联系复杂而广泛。

红核的传入联系主要来自小脑核群和大脑皮质：

①齿状红核束（dentatorubral tract）：起自小脑齿状核、栓状核、球状核，经小脑上脚交叉后，少部分止于红核，大部分穿越或包绕红核，至背侧丘脑，中继后到达大脑额叶的运动皮质。

②皮质红核束（corticorubral tract）：起自大脑皮质躯体运动区和辅助运动区，止于双侧红核。

红核的传出纤维主要有：

①红核脊髓束（rubrospinal tract）：起自红核的全长，经中线左右交叉，此交叉称被盖腹侧交叉（ventral tegmental decussation），交叉后纤维沿对侧特殊内脏运动柱附近下降，然后在脊髓外侧索下行，终止于前角的 α 和 γ 运动神经元（图5－15）。参与调节对侧肢体运动，可兴奋对侧肢体屈肌神经元，抑制伸肌神经元。人的红核脊髓束虽不发达，但如果皮质脊髓侧束受损，红核脊髓束可使皮质脊髓侧束部分运动功能保留，但不能学习新的运动功能，所以，瘫痪仍不能完全恢复。

②红核小脑束（rubrocerebellar tract）：起自红核小细胞部，经被盖中央束至同侧下橄榄核、外侧网状核等，然后至小脑核。红核的纤维与大脑皮质、脑干、小脑及脊髓都有联系，是锥体外系的重要中继核团。

（11）黑质（substantia nigra）　位于中脑脚底和被盖之间，贯穿整个中脑，并延伸至底

丘脑平面（图5-15、16）。黑质呈板状，因其多数神经元含黑色素而在新鲜标本呈黑色。黑质可分为背侧的黑质致密部和腹侧的网状部。

①黑质致密部（substantia nigra pars compacta）：位于背侧，由大型多极神经元组成，含黑色素颗粒，为多巴胺能神经元，是脑内多巴胺能神经元主要所在地。

②黑质网状部（substantia nigra pars reticulata）：位于腹侧，由小型神经元组成，含黑色素的较少，大多含铁质，其功能与苍白球相似。

黑质的传入联系主要来自大脑的纹状体、额叶运动区、底丘脑和中脑被盖。黑质的传出纤维主要投射至纹状体、丘脑。黑质与纹状体之间有往返的纤维联系：起自新纹状体的纤维经内囊后肢、大脑脚分布于黑质；黑质致密部多巴胺能神经元合成的多巴胺可通过黑质纹状体纤维释放至纹状体。若由于某种原因造成黑质与纹状体通路神经元变性，使新纹状体多巴胺水平下降，丘脑向运动皮质发放的兴奋性冲动减少，便导致震颤麻痹或帕金森病。患者表现为肌肉强直，随意运动受限、减少并出现震颤。所以，黑质是参与基底核调节随意运动的关键结构。此外，黑质致密部还参与中脑对边缘系统的多巴胺能投射。

3. 脑干的主要纤维束

（1）*内侧丘系*（medial lemniscus） 脊髓后索的薄束、楔束上升至延髓后，分别止于薄束核、楔束核。薄束核、楔束核发出纤维绕过中央灰质呈弓形，称内弓状纤维，并在中央管腹侧的中线左右交叉，称内侧丘系交叉（decussation of medial lemniscus），交叉后的纤维在中线两侧转折向上，行于脑桥及中脑的被盖部，形成内侧丘系，终止于背侧丘脑（图5-10～12、14～16）。内侧丘系传递来自对侧躯干和四肢的意识性本体觉和精细触觉冲动。在延髓的内侧丘系位于中线两侧，锥体的背侧；至脑桥略转向腹外侧，位于被盖部腹侧，接近基底部；在中脑移向被盖部腹外侧，红核的外侧。

（2）*脊髓丘脑束*（spinothalamic tract） 是脊髓上行的脊髓丘脑前束和脊髓丘脑侧束在延髓中合并而成（图5-9、14、15）。该束在延髓，位于外侧区，下橄榄核的背外侧；在脑桥和中脑部，位于内侧丘系的背外侧；最后该束的大部分纤维终止于丘脑腹后外侧核。

（3）*三叉丘系*（trigeminal lemniscus） 起自三叉神经脊束核及大部分三叉神经脑桥核的纤维，交叉至对侧上行，组成三叉丘系（图5-15）。该系紧随内侧丘系上行，止于丘脑腹后内侧核。

（4）*外侧丘系*（lateral lemniscus） 起于双侧上橄榄核、对侧蜗神经核及部分斜方体的听觉纤维，在脑桥中、下部，上橄榄核的外侧，转折向上，行于内侧丘系的外侧，称外侧丘系（图5-14、15）。外侧丘系在脑桥行于被盖的腹外侧，到中脑尾侧端止于下丘，将听觉冲动传递至下丘中央核。

（5）*脊髓小脑前束*（ventral spinocerebellar tract）*和脊髓小脑后束*（dorsal spinocerebellar tract） 位于延髓外侧周边部（图5-9、10），行于延髓上部时，脊髓小脑后束经小脑下脚进入小脑，脊髓小脑前束继续上行，在脑桥上部，经小脑上脚进入小脑。

（6）*锥体束*（pyramidal tract） 起自大脑额叶躯体运动区及其附近的顶叶皮质，经内囊至脑干（图5-9～16）。该束下行于中脑大脑脚底，穿越脑桥基底部时，被横行纤维分隔成若干小束，在脑桥下端重新汇合，至延髓聚集为锥体。

（7）顶盖脊髓束（tectospinal tract）　主要起源于上丘，在红核之间形成被盖背侧交叉后，在内侧纵束的腹侧下行，到达脊髓颈段，止于灰质第Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ层，在脑干中也有纤维止于各眼肌运动核（图5-9、11、13）。

（8）红核脊髓束（rubrospinal tract）　由中脑红核的大中型细胞发出，从腹内侧离开红核，越过中线，形成被盖腹侧交叉，在被盖外侧部下行于三叉神经脊束核的腹侧，至脊髓外侧索（图5-9、10、15）。

（9）内侧纵束（medial longitudinal fasciculus）是由上、下行纤维组成的复合束，在脑干一直占据中央灰质腹侧正中线两侧的位置，向下延伸到脊髓（图5-7、10、12~15）。主要由前庭神经核发出。其上行纤维至双侧诸眼外肌运动核，完成眼外肌之间以及眼球慢速运动的协调。其下行纤维至颈髓，终止于板层Ⅷ和部分板层Ⅶ，介导头颈部姿势的反射性调节。

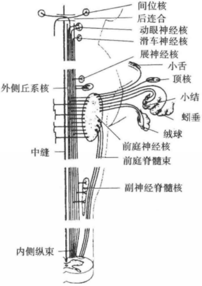


图5-7　内侧纵束

4. 脑干网状结构　在脑干内，除了上述的脑神经核、非脑神经核和特异性的上、下行纤维束之外，有些区域还存在一些大小不等的神经细胞，在其间穿行的神经纤维纵横交错成网状，这些区域称脑干网状结构（reticular formation of brain stem）（图5-8）。网状结构的主要特点是：①神经元胞体形状和大小各异，小的只有12~14μm，大的可达90μm，这些细胞被纤维分隔成许多小群，核团不易辨认；②纤维来源和走向不一，纵横交错；③纤维联系广泛，平均每个神经元表面约有7000~8000个突触。

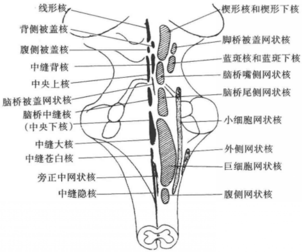


图5-8　脑干网状结构核团的分群和位置投影

（1）脑干网状结构的主要核团（图5-8）　脑干网状结构下至脊髓上部，上延至间脑，在各脑部所占区域大小有异，有些核团界限不十分清晰。对于界限相对比较清楚的网状神经元根据其细胞所在位置、构筑特点、纤维联系的不同和功能分为以下主要核团。

① 中缝核群（raphe nuclei）：位于脑干中缝两侧，由锥体交叉平面至中脑嘴侧，哺乳类动物和人类均可分为8个核团，依次为：中缝隐核、中缝苍白核、中缝大核、脑桥中缝核、中央上核、中缝背核、中间线形核和嘴侧线形核。中缝核群是中枢内5-羟色胺能神经元的主要聚集区，特别是中脑水平的中缝背核。中缝核群的联系广泛，上行到达大脑皮质、基底核、间脑及边缘系统，下行通过网状脊髓束到脊髓。其功能与睡眠、痛觉和镇痛、体温调节、神经内分泌等多方面生理活动有关。

②内侧核群（medial nuclear group）：靠近中线及附近，在延髓，有腹侧网状核和巨细胞网状核；在脑桥，有脑桥尾侧网状核、脑桥嘴侧网状核和蓝斑；在中脑有楔形核、楔形下核和脑桥被盖核。内侧核群发出大量长的上、下行传出投射，是脑干网状结构的“效应区”。其传入纤维来自外侧核群，还来自脊髓和所有脑神经感觉核。中脑顶盖的视、听觉信息和嗅脑的嗅觉冲动亦传至该核群。

③ 外侧核群（lateral nuclear group）：在延髓和脑桥有小细胞网状核；在中脑，有脚桥被盖核和臂旁内、外侧核。外侧核群接受大部分感觉通路的侧支冲动，是脑干网状结构的“感受区”。传入感受区的信息经联络区中继，又传递给内侧核群。

此外网状结构内还有3个与小脑联系的核团，它们是延髓外侧网状核、旁正中网状核和脑桥被盖网状核。脊髓、大脑皮质和前庭神经核的纤维经此核群中继后至小脑。

（2）脑干网状结构的主要功能　在种系发生上网状结构被认为是古老的脑区，对低等脊椎动物是中枢神经系统的核心部分。对哺乳动物，虽然发展了功能更为明确的神经核团、纤维束和皮质结构等，网状结构在细胞数目、核团划分、细胞构筑及突触联系上也有高度发展，但仍为脑干的重要组成部分，为中枢神经系统的一个重要整合中枢，主要简述如下。

①对大脑皮质的影响：人体的躯体或内脏感觉，经脊髓网状束、脊髓丘脑束等传向脑干网状结构，自脑干网状结构向间脑广泛投射，其中丘脑板内核和下丘脑是间脑接受脑干网状结构投射的主要部位。而从间脑向大脑皮质的投射是弥散的。该系统具有“非特异性”的特点，其与各种特异性感觉通路不同，我们称之为“网状上行激动系统”。其功能是使大脑皮质保持适度的意识和清醒，对各种传入信息有良好的感知能力，对于维持睡眠-觉醒状态，即入睡、唤醒、警觉和注意，起决定性作用。此系统受损会导致不同程度的意识障碍，甚至深度昏迷。一些镇静药物就是通过阻滞该系统的传入通路而达到镇静目的。

②对躯体运动的调节：大脑运动皮质发出的皮质网状束及锥体束的侧支延伸至网状结构，网状结构发出网状脊髓束，至同侧脊髓各节段中间带和前角的内侧部，控制随意运动，如保持姿势和在平地行走等。

③对内脏活动的影响：脑干的网状结构，特别是在脑桥尾侧部和延髓的网状结构外侧核群内，存在吸气、呼气、加压和减压等呼吸和心血管运动基本中枢，故统称为“生命中枢”。

④含不同神经递质的神经元：中枢内的5-羟色胺能神经元的胞体主要集中在中缝核，特别是中缝背核。它们发出的上、下行纤维除参与对大脑、边缘系统的调制外，还参与中枢镇痛和睡眠机制。去甲肾上腺素和肾上腺素能神经元主要分布于延髓、脑桥外侧核群。如蓝斑为含去甲肾上腺素能神经元核群，通过其上、下行投射，几乎终止于全脑和脊髓灰质各部，从而影响脑的整体活动。

（三）脑干各部的典型横切面

1. 延髓的横切面

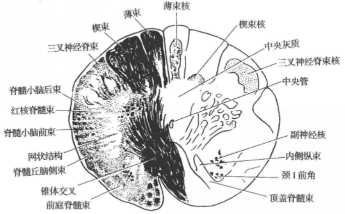


图5－9　延髓锥体交叉横切面

（1）锥体交叉阶段的横切面　此平面位于延髓下端（图5－9），其主要特点为：中央管仍在中央，周围为中央灰质；在腹侧部，左右锥体束纤维在中央管腹侧左右交叉，形成锥体交叉；前角的外侧部，有上延的副神经核；在后正中沟两侧的薄束和楔束深面，分别出现薄束核和楔束核；后角的灰质已为三叉神经脊束核所代替，其背侧为三叉神经脊束。脊髓丘脑束，脊髓小脑前、后束和红核脊髓束仍保持在原脊髓的位置。

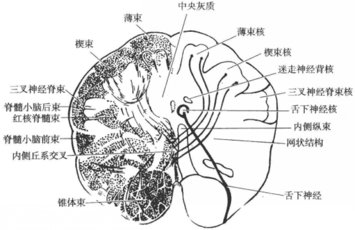


图5－10　延髓内侧丘系交叉横切面

（2）内侧丘系交叉阶段的横切面　此平面经内侧丘系交叉平面处（图5－10）。其特点为：

前正中裂两侧的锥体束聚为锥体；薄、楔束核明显增大，发出纤维呈弓状走向中央管腹侧，在中线交叉，形成内侧丘系交叉，交叉后的纤维在中线两侧折向上行，构成内侧丘系；在中央灰质内，出现了脑神经核，自腹内侧向背外侧分别为舌下神经核、迷走神经背核和孤束核。

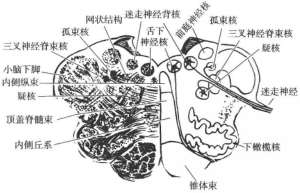


图 5－11　延髓橄榄中部横切面

（3）橄榄中部的横切面　此平面经橄榄中部（图 5－11），最显著的变化为：中央管敞开，成为第四脑室；室周灰质内的脑神经核，从内侧向外侧依次为：舌下神经核、迷走神经背核、孤束核以及前庭神经核，孤束核的腹侧为疑核，前庭神经核的腹外侧为三叉神经脊束和脊束核；在中线旁，由腹侧向背侧，依次为锥体束、内侧丘系、顶盖脊髓束和内侧纵束；锥体的背外侧出现下橄榄核。迷走神经根丝在下橄榄核背方出入脑，在锥体束和下橄榄核之间，可见舌下神经核出脑。

2. 脑桥的横切面

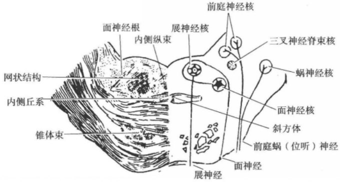


图 5－12　脑桥下部的横切面

（1）脑桥下部的横切面　此平面经面神经丘（图 5－12）。脑桥以内侧丘系和斜方体纤维为界。可以分为背、腹两部：腹侧部为脑桥基底部（basilar part of pons），是脑桥结构的最大特征；背侧为脑桥被盖部（tegmentum of pons），是延髓被盖的直接延续。脑桥基底部

含纵、横交错的纤维及散在于纤维之间的脑桥核。横行纤维是脑桥核发出的脑桥小脑纤维，交叉后组成粗大的小脑中脚（脑桥臂）进入对侧小脑。纵行纤维包括锥体束和皮质脑桥束。被盖部室周灰质的内侧部为面神经丘，内含面神经膝和展神经核；外侧部为前庭神经核。展神经核的腹外侧为面神经核，其发出的纤维向背侧，绕展神经核的内侧、背侧，折向腹外侧，形成面神经膝，经面神经核的外侧、脑桥下缘出脑。面神经核的腹内侧是上橄榄核，背外侧可见三叉神经脊束和脊束核。在三叉神经脊束与内侧丘系之间有红核脊髓束、脊髓丘脑束和脊髓小脑前束。三叉丘系位于内侧丘系的背侧。内侧纵束和顶盖脊髓束仍居中线原位。

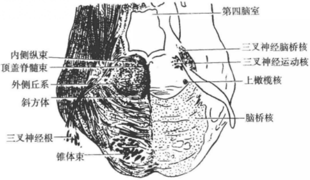


图 5 – 13　脑桥中部的横切面

（2）**脑桥中部的横切面**　此切面经三叉神经入脑水平（图 5 – 13）。脑桥基底部更为膨大，而第四脑室已开始缩小，小脑上脚构成脑室的边界。在被盖背外侧部有三叉神经脑桥核，其内侧是三叉神经运动核，二者之间有三叉神经根向腹侧出脑。此阶段脊髓小脑前束已加入小脑上脚。内侧丘系、脊髓丘脑束、外侧丘系在桥底与被盖之间。内侧纵束和顶盖脊髓束仍居中线原位。

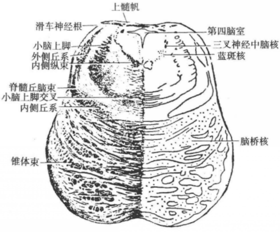


图 5 – 14　脑桥上部的横切面

（3）脑桥上部的横切面　此切面经过菱脑峡，是脑桥与中脑的移行区（图 5－14）。此平面的主要特点是：第四脑室缩窄向中脑水管过渡；三叉神经根及有关的主要核团均已消失，在上髓帆内有滑车神经交叉出脑；内侧丘系、外侧丘系、脊髓丘系、三叉丘系等传导束移向背外侧；出现小脑上脚。

3. 中脑的横切面

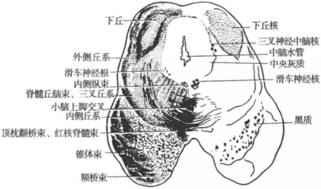


图 5－15　下丘阶段的横切面

（1）下丘阶段的横切面　此平面近背侧有中脑水管，其周围是中央灰质（图 5－15）。以中央灰质为界将中脑内部分为两部：背侧部为顶盖（tectum），由顶盖前区、上丘和下丘组成；腹侧部为大脑脚。大脑脚又以黑质分为：腹侧的大脑脚底（crus cerebri）与背侧的被盖（tegmentum）。在被盖部中脑水管腹侧中线两侧，滑车神经核嵌于内侧纵束背面所形成的凹槽内。在被盖的腹内侧部可见小脑上脚交叉的主体。在被盖的腹外侧部边缘为内侧丘系，其背外侧邻脊髓丘脑束，背内侧邻三叉丘系。在大脑脚底内的纵行纤维束，自内侧向外侧依次为：额桥束、锥体束和顶枕颞桥束。

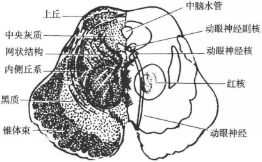


图 5－16　上丘阶段的横切面

（2）上丘阶段的横切面　此切面平上丘颅侧（图 5－16）。其主要特点为：在被盖部，中脑水管腹侧中线两侧有动眼神经核，其背内侧为动眼神经副核。动眼神经核和动眼神经副

核向腹侧发出动眼神经纤维，经大脑脚底内侧出脑；在被盖腹内侧部，出现大而圆的红核，其外侧为内侧丘系、三叉丘系和脊髓丘脑束。红核的腹外侧有黑质。大脑脚底内的纵行纤维束同下丘平面。

（四）脑干损伤

脑干损伤常为一侧损伤，损伤在锥体交叉以上，因伤及一侧未交叉的锥体束和某一脑神经核或脑神经根，出现交叉性瘫痪，即对侧身体偏瘫，患侧某一支或几支脑神经麻痹（图5－17）。

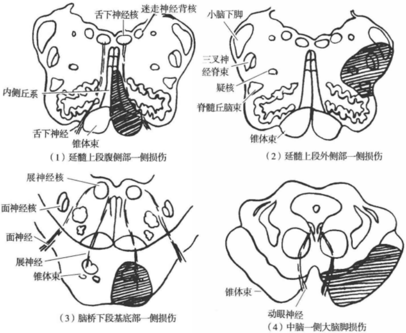


图5－17　由于脑血管性疾病引起的病变区

1. 延髓上段腹侧部一侧损伤　常见于椎动脉的延髓支栓塞，病变部位可涉及一侧的锥体束和部分内侧丘系及舌下神经根［图5－17（1）］。其临床主要体征为：

（1）同侧舌肌周围性瘫痪（舌下神经核核下瘫）；

（2）对侧肢体中枢性瘫痪（锥体束受损）；

（3）对侧上、下肢及躯干意识性本体觉和精细触觉障碍（内侧丘系受损）。

2. 延髓上段外侧部一侧损伤　最常见的原因为小脑下后动脉血栓形成，病变的范围主要在延髓上段的后外侧部，也称 Wallenberg 综合征［图5－17（2）］。其临床主要体征为：

（1）同侧面部痛、温觉和触觉障碍（三叉神经脊束及三叉神经脊束核受损）；

（2）对侧肢体及躯干痛、温觉和触觉障碍（脊髓丘脑束受损）；

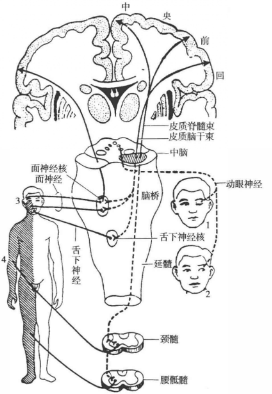


图5-18 一侧中脑大脑脚损伤引起的交叉瘫

(3) 同侧软腭及咽喉肌麻痹，吞咽困难，声音嘶哑（疑核受损）；

(4) 同侧 Horner 综合征，瞳孔缩小、上睑轻度下垂、面部皮肤潮红及汗腺分泌障碍（下丘脑至胸髓节段中间外侧核的交感下行通路受损）；

(5) 眼球震颤（垂直性）、剧烈眩晕、恶心和呕吐等前庭系统刺激症状（前庭神经核受损）；

(6) 同侧肢体共济失调（小脑下脚受损）。

3. 脑桥下段基底部一侧损伤 常见于基底动脉脑桥支栓塞，病变区可涉及一侧锥体束、展神经根及面神经根［图5-17（3）］。其临床体征为：

(1) 同侧外直肌麻痹（展神经根受损）；

(2) 面神经核下瘫（面神经根受损）；

(3) 对侧肢体中枢性瘫痪（锥体束受损）。

4. 中脑一侧大脑脚损伤 如小脑幕切迹疝压迫大脑脚底，可使一侧锥体束及动眼神经根受损［（图5-17（4）、5-18）］。其临床表现为：

(1) 患侧动眼神经麻痹（动眼神经根受损）；

(2) 对侧上、下肢中枢性瘫痪（锥体束受损）；

(3) 面神经核及舌下神经核核上瘫（锥体束受损）。

二、小脑

小脑（cerebellum）位于颅后窝，上方以小脑幕与端脑枕叶相隔，腹侧为脑桥和延髓，前下方以三对小脑脚与脑干相连。小脑是随着动物的运动方式及复杂程度而发展起来的。小脑通过不同途径接受经脊髓、前庭、大脑皮质等传入的身体各部的位置、运动状态等信息，并对之进行综合分析，再经往返纤维组成反馈环路，协调各部的功能，但不产生意识活动。所以，小脑是一个运动调节中枢，而不是一个直接的运动指挥中枢。

（一）小脑的外形及分叶

1. 小脑的外形 小脑形似蝴蝶，中间狭窄的部位，称小脑蚓（vermis）；两侧膨大的部

分，称小脑半球（cerebellar hemisphere）（图5－19、20）。

小脑的上面平坦，小脑蚓与小脑半球相互移行，无明显的分界。小脑蚓上部自前向后包括小舌、中央小叶、山顶、山坡、蚓叶5部分；小脑半球的上面从前向后有中央小叶翼、方形小叶前部，方形小叶后部、上半月小叶（图5－19、21）。

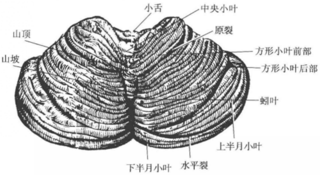


图5－19 小脑（上面）

小脑的下面凸隆，蚓部凹陷，与半球之间有纵沟分隔（图5－20）。小脑蚓的下面，自后向前是蚓结节、蚓锥体、蚓垂、小结4部分。小结是小脑的最前部，以绒球脚与绒球相连，构成绒球小结（图5－20、21）。小脑半球的下面，自后向前有下半月小叶、二腹小叶及小脑扁桃体（tonsil of cerebellum）。小脑扁桃体在蚓垂两旁，是小脑半球向下膨隆的部分，靠近延髓背面。当颅脑外伤、颅内血肿等病变，引起颅内压过高时，该部会被挤入枕骨大孔，形成小脑扁桃体疝，从而压迫延髓的心血管、呼吸中枢，危及生命。

小脑表面被很多平行的浅沟分成许多薄片，称小脑叶片（cerebellar folia）。此外，还有一些较深的沟称裂，主要有：

（1）水平裂（horizontal fissure） 位于小脑上、下面分界处，将小脑分为上、下两部。

（2）原裂（primary fissure） 位于小脑上面前中1/3交界处，以原裂为界分小脑半球为前叶（anterior lobe）和后叶（posterior lobe）。前叶和后叶合称小脑体（corpus of cerebellum）（图5－19、21）。

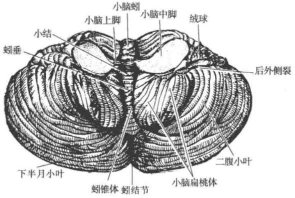


图5－20 小脑（下面）

（3）后外侧裂（posterolateral fissure） 位于小脑下面小结与蚓垂之间，后外侧裂将绒球小结叶（flocculonodular lobe）与小脑体分开（图5－20、21）。

2. 小脑的分叶 目前多结合小脑的进化、功能和纤维联系将小脑分为三个叶（图5－21）。

（1）古小脑（archicerebellum） 即绒球小结叶，位于小脑下面的最前部，包括属于两侧半球的绒球（flocculus）和蚓部的小结（nodulus），绒球和小结之间以绒球脚相

连。绒球小结叶在进化上出现最早，故称古小脑。

（2）旧小脑（paleocerebellum） 在小脑上面的前部，由原裂以前的前叶和后叶的蚓垂、蚓锥体和小脑扁桃体构成。

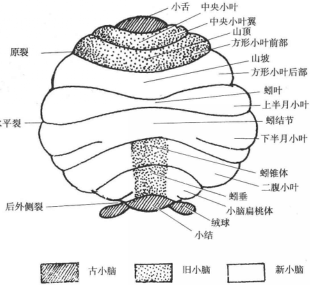


图 5－21 小脑分叶示意图

（3）新小脑（neocerebellum） 位于原裂和后外侧裂之间，除蚓垂、蚓锥体和小脑扁桃体外的大部分。在人类占据了小脑的大部分，其出现与大脑皮质的发展有关，是小脑在进化过程中出现最晚的部分，故称新小脑。

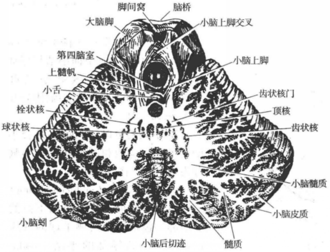


图 5－22 小脑的横切面

（二）小脑的内部结构

小脑的灰质与白质的分布不同于脊髓，其表面为薄层灰质，称小脑皮质（cerebellar cortex）（图 5－22），小脑皮质的深方为白质，称髓质（medullae），髓质内包埋的灰质核团，称小脑核（cerebellar nuclei）或小脑中央核（central nuclei of cerebellum）。

1. 小脑皮质的细胞构筑　小脑皮质的面积约为1000cm²，只有1/6显露于表面。由浅向深分为分子层、梨状细胞层和颗粒层（图5－23）。

（1）分子层（molecular layer）　最厚，纤维较多，神经细胞较少。分子层的纤维主要有浦肯野细胞（Purkinje cell）的树突、高尔基细胞（Golgi cell）的树突、颗粒细胞的轴突等。颗粒细胞的轴突在此层呈“T”形分叉，沿小脑沟长轴方向走行，称平行纤维。分子层的细胞主要是位于浅层的星形细胞（stellate cell）和深层的篮细胞（basket cell）。星形细胞胞体小，树突短，与颗粒细胞的轴突形成突触；其轴突平行走行，与梨状细胞的树突形成突触。篮细胞胞体呈星形或多角形，从胞体发出数个树突伸向浅层，轴突较长，在梨状细胞胞体上方沿叶片横轴走行，沿途以直角发出下降侧支，像篮子一样包裹梨状细胞的胞体，并与之形成突触。星形细胞和篮细胞均为抑制性神经元，对梨状细胞的传入冲动有抑制作用。

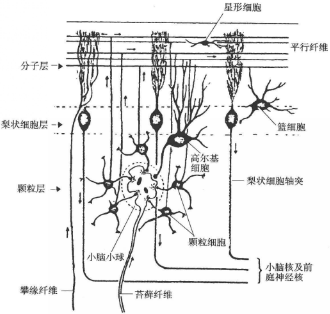


图5－23　小脑皮质的细胞结构模式图

（2）梨状细胞层（piriform cell layer）　又称浦肯野细胞层（Purkinje's cell layer）。是由单层梨状细胞（piriform cell）（即浦肯野细胞）构成。胞体呈梨形，从胞体向上发出2～3个主树突，然后再反复分支，在分子层形成扇形树突丛，其方向与平行纤维垂直，并与之形成突触。梨状细胞树突表面有大量的树突棘，一个梨状细胞约有20万左右个树突棘，每个树突棘都可与平行纤维的分支形成突触。梨状细胞的轴突是小脑皮质的唯一传出纤维，大部分经白质终止于小脑中央核，少部分终止于前庭神经核，对它们起抑制作用。

（3）颗粒层（granular layer）　含大量密集的颗粒细胞（granule cell）和少量的高尔基Ⅱ型细胞。颗粒细胞是兴奋性中间神经元，其树突接受苔藓纤维的传入，轴突进入分子层形成平行纤维。苔藓纤维的终末形成花结样膨大的终扣，称玫瑰结。以玫瑰结为中心，周围有颗粒细胞树突及高尔基Ⅱ型细胞的轴突终末等与之形成突触，表面包以胶质囊，便构成小脑小球（cerebellar glomerulus）（图5－23）。小脑小球是苔藓纤维和小脑皮质之间的突触连接形式。生理学证明，苔藓纤维与颗粒细胞之间的突触为兴奋性突触，而高尔基Ⅱ型细胞与颗粒细胞之间的突触为抑制性突触。高尔基Ⅱ型细胞的树突接受平行纤维的兴奋性传入，而高

尔基Ⅱ型细胞的轴突与颗粒细胞之间在小脑小球的抑制性突触又反过来抑制颗粒细胞，所以，高尔基Ⅱ型细胞在苔藓纤维与颗粒细胞之间起反馈抑制作用，形成负反馈通路。

2. 小脑皮质的传入纤维 小脑皮质的传入纤维有苔藓纤维和攀缘纤维两种（图5-23）：

（1）苔藓纤维（mossy fibers） 较粗，主要来自于脊髓小脑束、橄榄小脑束和脑桥小脑束。此纤维在白质内形成玫瑰结，参与构成小脑小球，可以兴奋颗粒细胞。后者的平行纤维与梨状细胞的树突形成突触，可使兴奋在纵向上扩布。

（2）攀缘纤维（climbing fibers） 较细，主要起于下橄榄核，从髓质穿过颗粒层，再攀缘梨状细胞的树突进入分子层，与梨状细胞的树突形成突触，此突触对梨状细胞有强大的兴奋作用。梨状细胞同时接受分子层的星形细胞和篮细胞的抑制。

3. 小脑中央核 小脑内有4对中央核，从内侧向外侧依次为：顶核、球状核、栓状核和齿状核（图5-22）。

（1）顶核（fastigial nucleus） 位于第四脑室顶部，靠近正中面。主要接受来自蚓部皮质的纤维，其次接受前庭神经及前庭神经核的纤维。由顶核发出的纤维交叉或不交叉形成顶核延髓束，经小脑下脚，主要终止于前庭核和网状结构。

（2）球状核（globose nucleus） 位于顶核外侧，呈球形。该核主要接受旧小脑皮质来的纤维，它发出纤维经小脑上脚，大部分止于红核。

（3）栓状核（emboliform nucleus） 是楔形灰质块，位于齿状核门处。它主要接受新、旧小脑皮质的纤维，发出的纤维同球状核。

（4）齿状核（denhtate nucleus） 仅见于哺乳类，人类最发达。位于最外侧，呈皱襞囊袋状，袋口向内侧。接受来自小脑新皮质的纤维，发出纤维经小脑上脚至中脑，部分纤维止于红核小细胞部，还发出侧支止于网状结构及丘脑。

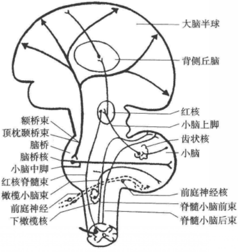


图5-24 小脑的纤维联系

（三）小脑的纤维联系

小脑与其他脑部有着广泛的纤维联系，其传入纤维比传出纤维约多3倍以上。来自大脑皮质运动中枢以及其他与运动有关的大量信息汇集至小脑皮质的梨状细胞，经其整合后，至小脑中央核，再经小脑中央核至脊髓、脑干等，实现其协调随意运动，调节肌紧张和维持身体平衡的功能（图5-24）。

1. 小脑的主要传入纤维

（1）前庭小脑束 一部分直接来自前庭神经节细胞（一级纤维），一部分来自前庭神经核（二级纤维）。来自前庭神经节细胞的前庭纤维投射到同侧绒球小结叶、蚓部、小脑扁桃体；来自前庭神经核的纤维投射到

双侧绒球小结叶及蚓垂。通过以上途径小脑得到有关头部的变速运动和空间位置信息。

（2）脊髓小脑后束 起自脊髓后角胸核（背核），主要为不交叉纤维，经小脑下脚止于同侧前叶蚓部（小舌、中央小叶、山顶）、蚓垂、蚓锥体，传导来自胸以下部分躯干和下肢的非意识性本体觉及触觉。

（3）脊髓小脑前束 主要起自腰骶膨大节段后角基底部和中间带的外侧部，大部分纤维交叉，小部纤维不交叉，最后经小脑上脚止于小脑前叶蚓部。此束与下肢和躯干下部的非意识性本体感觉及触觉传导有关。

（4）楔小脑束 起自楔束副核（楔外侧核），经同侧小脑下脚止于前叶蚓部，传导来自颈、躯干上部和上肢的非意识性本体觉及触觉。

（5）网状小脑束 起自脑干网状结构（外侧核、旁正中网状核等），经同侧小脑下脚，终止于小脑前叶、蚓锥体、蚓垂及旁正中小叶，此束间接将不同来源的本体感觉、触觉传导至小脑。网状结构的这些核还接受小脑顶核、齿状核的反馈纤维，因此，网状小脑束对小脑有反馈作用。

（6）橄榄小脑束 起自下橄榄核，交叉经对侧小脑下脚终止于小脑皮质各部，侧支还止于小脑核，下橄榄核与小脑之间有明确的定位关系，橄榄小脑束是小脑的重要传入纤维。下橄榄核群接受大脑皮质、中脑水管周围灰质、网状结构、红核、脊髓等来源广泛的纤维联系，是大脑、脑干、脊髓与小脑之间的重要中继核，从而影响小脑的活动。

（7）脑桥小脑束 起自脑桥核，大部分纤维交叉，小部分纤维不交叉，经小脑中脚主要终止于小脑新皮质，旧皮质也有。此束是小脑最大的传入纤维，是大脑皮质与小脑之间最主要的中继站。

研究还发现舌下神经核、疑核、面神经核、三叉神经运动核、展神经核、滑车神经核、动眼神经核发出的纤维投射至小脑，小脑从这些传入纤维中可获得头颈部的运动信息。

2. 小脑的主要传出纤维

（1）小脑前庭纤维 直接发自同侧和部分对侧古小脑、绒球小结和顶核，经小脑下脚，止于前庭神经核。

（2）顶核延髓束 发自旧小脑皮质（蚓垂和小舌）至顶核的新部和球状核，再由这些核发出顶核延髓束，交叉或不交叉至前庭神经核和脑干网状核。

（3）小脑红核束 起自球状核、栓状核和齿状核。球状核、栓状核、齿状核的背内侧部（旧部）接受小脑旧皮质纤维，齿状核的前外侧部（新部）接受小脑新皮质纤维。由这些核发出的纤维共同组成小脑上脚，在中脑下丘平面进行交叉。其中起自球状核、栓状核、齿状核旧部的纤维交叉后止于红核的大细胞部（旧部），由此发出红核脊髓束，交叉后至脊髓前角运动细胞控制骨骼肌的张力；起自齿状核新部的纤维止于红核的小细胞部（新部），由红核的小细胞部发出红核网状束至对侧网状结构，再由网状结构发出网状脊髓束和网状延髓束，分别止于脊髓前角运动细胞和脑神经躯体运动核，控制骨骼肌的张力。

（4）小脑丘脑束 由齿状核、球状核、栓状核发出的纤维共同组成了小脑上脚，在中脑下丘平面交叉至对侧，一部分纤维分别止于红核的新部和旧部，称为小脑红核束（齿核红核束），另一部分纤维不止于红核，而是穿过红核，与红核小细胞部发出的红核丘脑束共

同向上，终止于丘脑腹后外侧核、腹前核、枕核，称此为小脑丘脑束或齿核丘脑束。由丘脑腹外侧核发出丘脑皮质束，止于大脑皮质运动区及感觉区。

小脑通过3对脚与其他脑部进行广泛联系，小脑上脚又称结合臂，是小脑的主要传出途径，将小脑与中脑相连；小脑中脚又称脑桥臂，起自脑桥核，将大脑传入信息经脑桥传入小脑；小脑下脚又称绳状体，主要由传入纤维组成，含小脑与前庭之间的往返纤维（图5－24）。小脑3对脚的主要纤维组成见表5－2。

表5－2　小脑脚的纤维组成

小脑脚	传入纤维	传出纤维
小脑下脚	脊髓小脑后束 楔小脑束 橄榄小脑纤束 前庭小脑束 网状小脑束 三叉小脑束	小脑前庭纤维 小脑橄榄纤维 小脑网状纤维
小脑中脚	脑桥小脑束	
小脑上脚	脊髓小脑前束 红核小脑束 顶盖小脑束	小脑丘脑纤维 小脑红核纤维

（四）小脑的功能及损伤

对于小脑的功能虽然做了大量的研究，但至今对其机能及与其他脑部的协同关系尚未完全了解，一般认为小脑的功能主要是维持身体平衡，调节肌肉张力、协调准确完成各种随意运动。小脑的功能分别与古小脑、旧小脑和新小脑相关联，当小脑某一部分发生病变时，就可发生相应部位的功能障碍，但小脑的病变不易精确定位，因小脑不像大脑那样有直接的运动机能和有意识的感觉机能；另外小脑位于颅后窝的小脑幕下，一旦发生病变，向周围空间扩张的范围很小，结果导致病变不仅压迫病灶区，而且常常影响远隔部位以至小脑全部。由于小脑发出的纤维经过几次中继和交叉后最终总是止于同侧脊髓前角细胞，因此一侧小脑病变，其症状一定表现在病灶同侧的肢体。

1. 古小脑　由皮质的绒球小结叶及中央核的顶核构成。古小脑与前庭系统的关系极为密切，故又称前庭小脑（vestibulocerebellum），是维持平衡的重要中枢。古小脑主要接受同侧前庭神经初级平衡觉纤维和前庭神经核发出的纤维，经小脑下脚进入同侧小脑。其传出纤维由绒球小结叶皮质发出，主要至同侧前庭神经核，再经前庭脊髓束和内侧纵束，控制躯干肌及眼外肌运动神经元，维持身体平衡，协调眼球运动。此部损伤表现为平衡失常，如站立不稳，走路时摇晃不定，易向患侧倾倒，偶尔可见水平方向的缓慢而不规则的眼球震颤（病变波及前庭神经核）。此病以儿童多见，常因绒球小结叶肿瘤而致。

2. 旧小脑　由小脑皮质部的前叶，后叶的蚓锥体、蚓垂及相关的球状核、栓状核、齿状核的背内侧部构成。旧小脑主要接受脊髓小脑束（包括脊髓小脑后束、脊髓小脑前束、楔小脑束）传入的颈肌、四肢肌腱的本体感觉冲动，故又称脊髓小脑（spinocerebellum）。旧

小脑借传入纤维接受全身各处肌、腱、关节的本体觉冲动，部分前庭、视、触觉等冲动，经过整合后，经传出纤维，最后通过网状脊髓束、红核脊髓束至脊髓前角细胞、脑神经运动核，控制肌肉的张力，维持身体的姿势和平衡。所以当旧小脑损伤时，可出现病灶侧肢体肌张力降低，容易疲劳；平衡失调，步态蹒跚如醉汉，闭目难立征；构音障碍、语速减慢，呈吟诗样或爆破样发音。语言障碍对定位诊断有十分重要的意义，如平衡失调而无语言障碍，表明病变在脊髓，只损伤了脊髓小脑前、后束；如平衡失调同时伴有语言障碍，表明病变在旧小脑，病变不仅损伤了脊髓小脑前、后束及楔小脑纤维，而且损伤了传导咽喉肌本体觉的纤维。

3. 新小脑　由小脑半球外侧部及相关的齿状核构成。新小脑是进化最新的部分，与大脑皮质有着广泛的联系，故又称大脑小脑（cerebrocerebellum）。大脑皮质与小脑皮质之间有一条重要的环路：大脑皮质→脑桥核→小脑皮质→齿状核→丘脑腹后外侧核→大脑皮质。小脑就是通过这条反馈环路实现对大脑皮质运动的影响，防止运动过度，校正肢体（特别是四肢远端）的精细动作，使其更准确和协调。所以当新小脑发生病变时，除肌张力低下外，常出现共济失调，主要表现为四肢精细运动的协调运动障碍，如①意向性震颤或运动性震颤：做随意运动时肢体震颤，安静时震颤减轻或消失，如指鼻不准；②辨距过度：辨距不良，随意运动动作往往过度等；③书写障碍：字迹不规则，字体偏大；④轮替不能等现象。

三、间脑

间脑（diencephalon）位于脑干与端脑之间，上端连接大脑半球，下端延续为中脑。由于大脑半球高度发展而掩盖了间脑的两侧和背面，仅有部分结构，如视交叉、灰结节、漏斗、垂体、乳头体等露于脑底面。间脑的前缘以室间孔与视交叉上缘的连线与端脑为界，后缘以后连合与乳头体后缘的连线与中脑为界，外侧与尾状核和内囊毗邻，两侧间脑之间为第

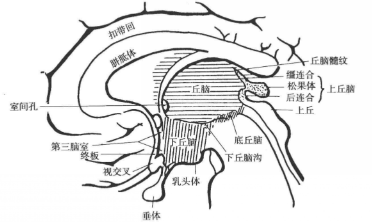


图 5－25　脑正中矢状面（示间脑的位置和分部）

三脑室（图5－1）。第三脑室向上以室间孔通侧脑室，向下以中脑水管通第四脑室。虽然间脑在中枢神经系统的体积较小，但结构和功能却仅次于端脑，十分复杂，是皮质下的高级中枢部位。间脑可分为背侧丘脑、后丘脑、上丘脑、底丘脑和下丘脑5部（图5－25）。

（一）背侧丘脑

1. 背侧丘脑的位置和外形 背侧丘脑（dorsal thalamus）又称丘脑（thalamus），是一对卵圆形的灰质团，位于间脑的最背侧，是间脑的最大部分，约占整个间脑的4/5。其前端突起称丘脑前结节（anterior thalamic tubercle），后端膨大称丘脑枕（pulvinar）；内侧面大部游离，中间有丘脑间粘合（interthalamic adhesion）相连。其下部以内侧面下方的下丘脑沟（hypothalamic sulcus）与下丘脑分界。背侧丘脑的背侧面隆起，外侧缘与端脑的尾状核之间以终沟为界，此沟内有终纹及与之伴行的终静脉；内侧缘是丘脑带，是第三脑室脉络丛附着处，其深面有丘脑髓纹（stria medullaris）（图5－26）。

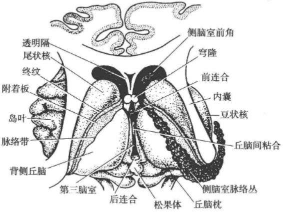


图5－26 间脑背面观

2. 背侧丘脑的分部 背侧丘脑灰质内部有一白质板，称为内髓板（internal medullary lamina），在水平面上此板呈“Y”字形，它将背侧丘脑分为三大核群：前核群（anteror nuclear group）、内侧核群（medial nuclear group）和外侧核群（lateral nuclear group）（图5－27）。在丘脑内侧面，第三脑室侧壁上的薄层灰质及丘脑间粘合内的核团，合称为中线核群（midline nuclear group）；在外侧核群与内囊之间的薄层灰质称丘脑网状核（thalamic reticular nucleus），丘脑网状核与外侧核群之间为外髓板。内髓板内还有板内核群（intralaminar nuclear group）。背侧丘脑的上述每个核群又分成若干亚核，如：外侧核群可分为背侧组和腹侧组，背侧组从前向后又分为背外侧核、后外侧核及枕，腹侧组由前向后又分为腹前核（ventral anterior nucleus）、腹外侧核（ventral lateral nucleus）及腹后核（ventral posterior nucleus）；腹后核又分为腹后内侧核（ventral posteromedial nucleus）和腹后外侧核（ventral posterolateral nucleus）。

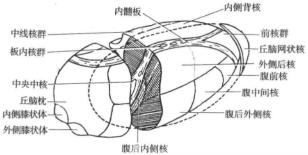


图 5-27　背侧丘脑的分部及主要核团

3. 背侧丘脑的功能和纤维联系　背侧丘脑又可按进化程序的先后分为古、旧、新三类核团，虽然在这三类核之间以及与其他脑部均有着广泛的联系，但在纤维联系及功能上仍有所不同。

（1）非特异性投射核团（古丘脑）　是丘脑进化比较古老的部分，包括中线核群、板内核群、网状核和部分腹前核。它们主要接受脑干网状结构的传入纤维，参与丘脑网状系统的构成。网状结构上行纤维经此核团中继后，构成上行网状激动系统，通过多突触而弥散地投射到大脑皮质广泛区域，维持机体的清醒状态。板内核还与感觉，特别是痛觉传入有关，为针刺镇痛机理提供生理学基础。所以若此区发生病变，则出现昏睡、昏迷等网状结构受损的症状。

（2）特异性中继核团（旧丘脑）　是丘脑进化过程中较新的核群，随着大脑皮质的进化而发展，主要功能是将脊髓或脑干等的特异性感觉中继后，直接投射于大脑皮质特定区域，产生具有意识的感觉。此核群包括腹前核、腹外侧核、腹后核。腹前核和腹外侧核主要接受小脑齿状核、苍白球、黑质的传入纤维，经它们中继后，发出的纤维投射至躯体运动中枢，调节躯体运动。腹外侧核还与大脑皮质之间有往返的纤维联系，破坏此核对于控制 Parkinson 征患者的部分症状有一定的效果。腹后内侧核接受三叉丘系和来自孤束核的味觉纤维，腹后外侧核接受内侧丘系和脊髓丘系的纤维。腹后核发出的纤维主要投射至大脑皮质中央后回的躯体感觉中枢。腹后核的传入和传出纤维均有严格定位关系，即传导头面部感觉的纤维投射到腹后内侧核，而由腹后内侧核发出的纤维投射到大脑皮质中央后回下部的头面部代表区。传导上肢、躯干和下肢的感觉纤维由内向外依次投射到腹后外侧核，再由该核发出纤维投射到大脑皮质躯体感觉中枢中、上部的躯干和四肢代表区。味觉则终止于腹后核的最内侧区，发出的纤维投射到大脑皮质中央后回下部的舌、咽代表区。

（3）联络性核团（新丘脑）　是丘脑进化过程中最新的部分，包括前核、内侧核和外侧核的背侧组。虽然它们不直接接受感觉传导束，但接受特异性、非特异性中继核团的纤维，发出的纤维到大脑皮质联络区，在大脑皮质与丘脑之间联络和协调各种感觉。如丘脑前核传入纤维主要是来自下丘脑乳头体，称乳头丘脑束，并通过乳头丘脑束参与构成 papez 回路。丘脑前核与扣带回也有往返纤维联系，所以丘脑前核是边缘系统的组成部分，与内脏活动有关。内侧核位于内髓板与中线核之间，人类的丘脑前核特别大，主要接受皮质的嗅觉传入，与额叶皮质也有往返纤维联系，可能与躯体和内脏冲动的整合有关。如额叶手术损害皮质与内侧核之间的

联系纤维，则会造成联络功能缺失及行为改变，有时会出现不恰当的情绪。

除嗅觉外，身体内、外一切感觉在到达大脑皮质之前都在丘脑中继，大脑皮质不发达的鸟类，丘脑是重要的高级感觉中枢；在人类其功能已降为皮质下感觉中枢。但在功能上仍能领略到粗略的感觉，同时伴有愉快与不愉快的情绪，具有情感意识的辨别分析能力，还参与学习、记忆等高级神经活动。若一侧丘脑损伤，早期半身感觉可能完全丧失，一段时间过后，痛、温、粗触觉可有一定的恢复，但精细触觉和深感觉则严重受损。若损伤丘脑与大脑的联系纤维，还会产生感觉过敏、深浅感觉减退或消失，自发性疼痛，有时可出现比较严重的偏身自发性剧痛，并伴有感情色彩。

（二）下丘脑

下丘脑（hypothalamus）重约4g，仅占全脑的1/300，但它却是神经内分泌中心，控制着机体的多种功能。

1. 下丘脑的位置与外形 下丘脑位于背侧丘脑的前下方，被第三脑室分隔为左右两半。内侧面构成第三脑室侧壁的下半和底壁，借下丘脑沟与背侧丘脑为界；前面和外侧被大脑基底部与底丘脑包围；后方连接中脑（图5－1、25）。在脑的底面，最前方是视交叉（optic chiasma）；视交叉的后方有灰结节（tuber cinereum）；灰结节向下移行为漏斗（infundibulum），漏斗下端与垂体（hypophysis）相连；漏斗基底部的灰结节隆起，称正中隆起（median eminence）；灰结节后方有一对圆形隆起，称乳头体（mammillary body）。

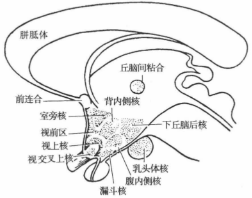


图5－28 下丘脑的主要核团

2. 下丘脑的分区及主要核团 下丘脑在矢状面以视交叉、灰结节和乳头体为标志，从前向后可分为视前区、视上区、结节区和乳头体区4个部分。视前区是视交叉前缘与前连合之间的部分；视上区、结节区和乳头体区分别位于视交叉、灰结节、乳头体背侧的深面（图5－28）。下丘脑在冠状面以穹隆为标志，由内向外可分为室周带、内侧带和外侧带。内侧带和外侧带分别位于穹隆柱的内侧和外侧，室周带则是第三脑室侧壁的室管膜下灰质层（图5－29）。

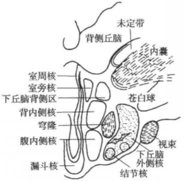


图5－29 下丘脑的冠状切面（通过结节区平面）

下丘脑细胞核团边界不太明显，细胞大小不一，以肽能神经元为主，其主要核团包括（图5－28）：①位于视上区的视上核（supraoptic nucleus）、室旁核（paraventricular nucleus）和丘脑前核；②位于结节区的漏斗核、腹内侧

核和背内侧核；③位于乳头体区的乳头体核和下丘脑后核。

3. 下丘脑的主要纤维联系

下丘脑的纤维联系极为复杂，和中枢许多部分存在着广泛的联系，有些纤维束比较弥散，有些较为明确，其中不少纤维束是双向联系的。归纳起来有以下4个方面（图5-30、31）：

（1）与边缘系统的联系

①通过前脑内侧束与隔区相联系。此束是下丘脑的重要纤维束，其纤维松散地贯穿于整个下丘脑外侧区，内含上、下行的纤维。下行纤维主要起自隔区和视前区，终于中脑被盖、网状结构、中央灰质等。上行纤维来自脑干的网状结构、中缝核群等，终止于所有的下丘脑核团。此束不仅是下丘脑的重要传入和传出纤维通路，也是端脑的重要出入通路之一。

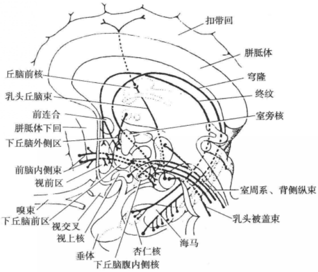


图5-30　下丘脑的纤维联系

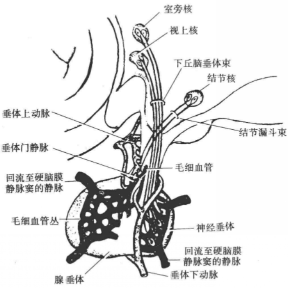


图5-31　下丘脑与垂体间的联系

②通过穹隆（fornix）与乳头体相联系。穹隆的纤维组成极为复杂，起止部位也比较分散，是联系海马和下丘脑，特别是乳头体的主要纤维系统。主要起自下托（subiculum）、海马（hippocampus）及隔核，止于乳头体和丘脑前核。

③通过终纹（terminalis striae）与杏仁体相联系。终纹是杏仁体与下丘脑交互联系的一股明显纤维束，肉眼即可辨认。起自杏仁体，在前连合处分为两股，一股经终纹床核中继后止于下丘脑，另一股直达下丘脑。

（2）与脑干和脊髓的联系

①通过前脑内侧束和乳头脚（mammillary peduncle）（起自中脑被盖，止于乳头体和下丘脑后核）接受来自脑干的纤维，又经自乳头体

发出乳头被盖束返回至中脑被盖。

②通过背侧纵束（dorsal longitudinal fasciculus）与脑干和脊髓的内脏运动神经节前神经元联系。背侧纵束位于中脑水管腹外侧，是一个兼有上、下纤维的复合纤维束，联系着下丘脑与脑干和脊髓的一些细胞群，如动眼神经副核，疑核，上、下泌涎核，面神经核，孤束核，舌下神经核及脊髓的内脏运动神经节前神经元。

（3）与背侧丘脑的联系

①通过起自乳头体的乳头丘脑束（mamillothalamic tract）与丘脑前核群相联系。

②通过室周灰质与丘脑背内侧核相联系。

（4）与垂体的联系　垂体除接受来自交感干颈上神经节发出的交感神经节后纤维和来自面神经岩大神经分支发出的副交感神经支配外，还通过下丘脑垂体束接受下丘脑的神经支配。下丘脑垂体束有3条通路：

①视上垂体束（supraopticohypophyseal tract）：起自视上核。

②室旁垂体束（paraventriculohypophyseal tract）：起自室旁核。

上述两条通路均终止于垂体后叶。通过这两条通路将视上核和室旁核所分泌的加压素（抗利尿激素）和催产素输送至神经垂体或正中隆起，后者可经垂体门脉系（hypophyseal portal system）输送至腺垂体或直接进入血管扩散到全身。

③结节垂体束（tuberohypophyseal tract）：又称结节漏斗束（tuberoinfundibular tract），主要起自漏斗核，终止于正中隆起毛细血管，将神经内分泌物质（如促激素释放激素或抑制激素等）经垂体门脉系统运送至垂体前叶，控制垂体前叶的内分泌功能。此外，下丘脑神经元也可将神经内分泌物质释放入第三脑室的脑脊液，被特化的室管膜细胞吸收，再经此细胞的突起转送到漏斗柄的毛细血管。

4. 下丘脑的功能及损伤　下丘脑是皮质下内脏活动高级中枢，调节交感神经和副交感神经以维持机体适宜的内环境，故下丘脑有“内脏脑”之称。通常认为下丘脑的前部和内侧部控制副交感神经，后部和外侧部控制交感神经。下丘脑还是神经内分泌中心，它通过与垂体的密切联系，将神经调节和体液调节融为一体，调节机体的内分泌活动。它涉及的功能极为广泛，把内脏活动和其他生理活动联系起来，对机体体温、摄食、生殖、水盐平衡等进行广泛的调节。下丘脑与边缘系统也有密切联系，从而参与情绪行为的调节，所以下丘脑又有“情绪脑”之称。下丘脑的视交叉上核与人类昼夜节律有关，具有调节机体睡眠、觉醒等昼夜节律的功能。

下丘脑损伤可出现严重的内脏功能紊乱，如睡眠障碍（嗜睡或失眠）、进食障碍（贪食或厌食）、体温调节障碍（过高或过低）、胃和十二指肠溃疡或出血、内分泌失调、心血管症状及精神症状等。

（三）后丘脑

后丘脑（metathalamus）位于丘脑的后下方，中脑顶盖的上方，包括内侧膝状体（medial geniculate body）和外侧膝状体（lateral geniculate body）（图5-3、27），属特异性中继核团。内侧膝状体通过下丘臂接受来自下丘脑的听觉纤维，发出纤维形成听辐射，经内囊后肢投射至颞叶的听觉中枢。外侧膝状体接受视束的传入纤维，发出视辐射纤维经内囊后肢投射

至枕叶的视觉中枢。因此，内、外侧膝状体分别是听觉和视觉的皮质下中枢。

（四）上丘脑

上丘脑（epithalamus）位于背侧丘脑的后上方，胼胝体压部的下方。包括松果体、缰三角、缰连合、丘脑髓纹和后连合等（图 5－25、26）。

1. 松果体（pineal body） 位于中脑两侧上丘之间的凹陷内，其前端分为上、下两脚，上脚连于缰连合，下脚连于后连合。低等动物的松果体是光感受器，也称顶眼，在哺乳动物为内分泌腺。人类的松果体能合成褪黑激素（melatonin）。褪黑激素的合成有周期性变化，与松果体的生物钟现象有关。褪黑激素具有抑制性腺活动等功能。松果体在儿童时期较发达，至16岁后钙化形成脑砂，可作为X线诊断颅内占位病变的定位标志。

2. 丘脑髓纹（thalamic medullary stria） 位于丘脑带的深面，其纤维组成很复杂，主要来自隔核、下丘脑视前区等，部分终止于同侧缰核，也有部分纤维经缰连合至对侧缰核。

3. 缰三角（trigonum habenulae） 位于第三脑室顶的后部，是丘脑髓纹向后扩大形成的三角形结构，内有缰核，接受经髓纹来自隔核等处的纤维，并发出纤维投射至中脑。缰核（habenular nucleus）位于缰三角深部，被认为是边缘系统与中脑之间的中继站，具有调节内脏活动和内分泌的功能，亦与睡眠有关。连接两侧缰核的纤维称缰连合。

4. 后连合（posterior commissure） 位于上丘上方，为一粗的横行纤维束，位于松果体下脚与上丘之间，是中脑和间脑的交界结构。后连合内含多种纤维成分，但其走行、功能等尚不十分清楚。如切断后连合会引起瞳孔间接对光反射减弱，若损伤其周围的后连合核，造成眼睑回缩、眼球垂直运动障碍。

（五）底丘脑

底丘脑（subthalamus）是间脑与中脑被盖的过渡区，内含底丘脑核。底丘脑核（subthalamus nucleus）又称 Luys 体，在额状切面上，呈双凸透镜状，居于内囊和大脑脚的背内侧。此核的传入纤维主要来自苍白球，传出纤维投射于黑质、红核、苍白球。底丘脑核与苍白球之间的往返纤维称为底丘脑束，与锥体外系的功能有关。人类一侧底丘脑核受损，可产生对侧肢体，尤其是上肢较为显著的、不自主的舞蹈样动作，称半身舞蹈病或半身颤搐。

四、大脑

大脑（cerebrum）又称端脑（telencephalon），是中枢神经的最高级部位，由左、右两个大脑半球构成。人类的大脑已发展到最高程度，由于其高度发展，遮盖了间脑和中脑，并把小脑推向后下方。

（一）大脑的外形

大脑半球在发育过程中，由于各部发育的速度不均，表面凹凸不平，凹陷处称为沟或裂，沟与沟之间的隆起，称为脑回（图 5－32、33）。左、右大脑半球之间有纵行的大脑纵裂（cerebral longitudinal fissure），大脑纵裂的底部有连接左、右半球的胼胝体（corpus callo-

sum)。大脑和小脑之间有大脑横裂（cerebral transverse fissure）。每侧半球分为上外侧面、内侧面和下面3个面。上外侧面隆凸，以脑膜与颅盖相邻，内侧面是左、右半球的对应面，较为平坦，内侧面和上外侧面以上缘为界。下面又称底面，位于颅底的内面，凹凸不平，和内侧面之间无明显分界，和上外侧面之间以下缘为界。每侧半球有3条恒定的沟，将每侧大脑半球分为额、顶、枕、颞及岛叶5个叶。其中，额叶和颞叶的最前端分别称为额极和颞极，枕叶的最后端称为枕极。

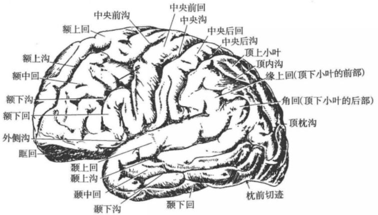


图5－32　大脑半球的上外侧面

1. 大脑半球的分叶　每侧半球3条恒定的沟是：中央沟、外侧沟、顶枕沟（图5－32、33）。

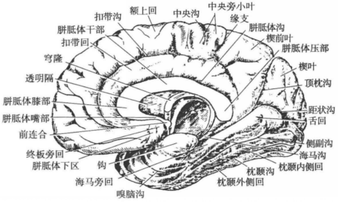


图5－33　大脑半球的内侧面

(1) 恒定的沟

①中央沟（central sulcus）：位于半球的上外侧面，起于半球上缘中点稍后方，斜向前

下方，下端与外侧沟隔一脑回，上端延伸至半球内侧面。

②外侧沟（lateral sulcus）：位于半球的上外侧面，起于半球下面，由前斜向后上方，至上外侧面。

③顶枕沟（parietooccipital sulcus）：位于半球内侧面后部，自距状沟起，自下向上并转至上外侧面。

（2）大脑半球的分叶　每侧半球的 3 条恒定沟将每个半球分为额叶、顶叶、枕叶、颞叶和岛叶 5 个叶（图 5－32、33）。

①额叶（frontal lobe）：在外侧沟上方和中央沟以前的部分。

②顶叶（parietal lobe）：在中央沟后方，外侧沟上方，枕叶以前的部分。

③枕叶（occipital lobe）：位于半球后部，其前界在内侧面为顶枕沟，在上外侧面的界限是顶枕沟至枕前切迹（在枕叶后端前方约 4cm 处）的连线。

④颞叶（temporal lobe）：外侧沟以下的部分。

⑤岛叶（insular lobe）：又称脑岛（insula），呈三角形岛状，位于外侧沟深面，被额、顶、颞叶所掩盖（图 5－32）。

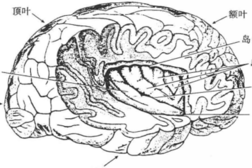


图 5－34　岛叶

2. 半球的上外侧面

（1）额叶　在中央沟前方有与之平行的中央前沟（precentral sulcus）。中央沟和中央前沟之间为中央前回（precentral gyrus）。中央前沟向前有两条与大脑上缘近乎平行的额上沟（superior frontal sulcus）和额下沟（inferior frontal sulcus）。额上沟和额下沟将中央前回以前的额叶分成：额上回（superior frontal gyrus）位于额上沟上方；额中回（middle frontal gyrus）位于额上、下沟之间；额下回（inferior frontal gyrus）位于额下沟和外侧沟之间。

（2）顶叶　中央沟的后方有与之平行的中央后沟（postcentral sulcus），中央沟和中央后沟之间为中央后回（postcentral gyrus）。中央后回的后方有一条与上缘平行的顶内沟（intraparietal sulcus）。顶内沟的上方为顶上小叶（superior parietal lobule），下方为顶下小叶（inferior parietal lobule）。顶下小叶又分为包绕外侧沟后端的缘上回（supramarginal gyrus）和围

绕颞上沟末端的角回（angular gyrus）。

（3）颞叶　在外侧沟的下方，有与之平行的颞上沟（superior temporal sulcus）和颞下沟（inferior temporal sulcus），颞上沟和颞下沟将颞叶分为颞上回、颞中回和颞下回。颞上沟的上方为颞上回（superior temporal gyrus），颞上沟与颞下沟之间是颞中回（middle temporal gyrus），颞下沟的下方为颞下回（inferior temporal gyrus）。颞上回转入外侧沟深面，有几条短而横行的脑回，称颞横回（transverse temporal gyrus）。

3. 半球的内侧面　额、顶、枕、颞叶都延伸至半球的内侧面（图5-33）。在上部有中央前、后回在大脑内侧面的延伸部分，称中央旁小叶（paracentral lobule）。中部有前后方向并呈弓形的胼胝体。在胼胝体的上缘有胼胝体沟（callosal sulcus），其上有与胼胝体弯曲一致的扣带沟（cingulate sulcus），二者之间为扣带回（cingulate gyrus）。扣带沟绕过胼胝体后方，向前移行于海马沟（hippocampal sulcus）。在胼胝体后方有弓形的距状沟（calcarine sulcus），向后至枕叶后端。距状沟与顶枕沟之间为楔回（cuneus），距状沟下方为舌回（lingual gyrus）。

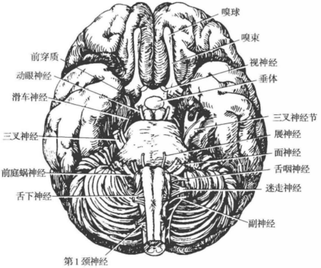


图5-35　大脑半球的底面

4. 半球底面　为额叶、颞叶和枕叶的下面。在额叶可见膨大的嗅球（olfactory bulb），与嗅神经相连。嗅球后延续为嗅束（olfactory tract），嗅束向后分成内侧嗅纹和外侧嗅纹，内、外侧嗅纹之间为嗅三角（olfactory trigone）。嗅三角与视束之间为前穿质（anterior perforated substance），内有许多小血管穿入脑实质内。以上结构统称为嗅脑，属于古皮质（图5-35）。颞叶下方有与半球下缘平行的枕颞沟（occipito-temporal sulcus），此沟内侧有与之平行的侧副沟（collateral sulcus），侧副沟的内侧为海马旁回（parahippocampal gyrus）（又称海马回），海马旁回的前端为钩（uncus），内侧为海马沟（hippocampal sulcus）。此沟的上方有呈锯齿状的窄条皮质，称齿状回（dentate gyrus）。从内侧面看，在齿状回的外侧，侧脑室下角底壁上有一弓形隆起，称海马（hippocampus）（图5-33、48）。

（二）大脑的内部结构

大脑半球表面为灰质，称大脑皮质（cerebral cortex）。皮质的深方为白质，称大脑髓质。髓质内埋有灰质核团，称基底核（basal nuclei）。大脑半球内还有左右对称的腔隙，称侧脑室（lateral ventricle）。

1. 大脑皮质　大脑皮质位于大脑的表面，是神经系统发育最复杂和最完善的部位，厚度约15～45mm，重量约600g，占大脑重量的60%，面积约2200cm^2，有1/3露于表面，2/3深藏于沟裂的底或壁上。大脑皮质主要由神经元胞体、神经纤维和神经胶质构成，神经元的数量有22亿～140亿等不同说法。

（1）大脑皮质的构筑分层　按种系发生，人类的大脑皮质分为比较古老的异生皮质（allocortex）和较新的也称同生皮质（isocortex）。异生皮质为3层，包括古皮质（海马、齿状回）和旧皮质（嗅脑）。同生皮质占全部皮质的96%，为6层结构。有的皮质区层数增加或减少则为异型皮质（heterotypical cortex）。用Nissl染色的切片可显示神经细胞的分层，用Weigert染色的切片可显示纤维分层，现按细胞分层和纤维分层对为新皮质的构筑简述如下（图5－36）：

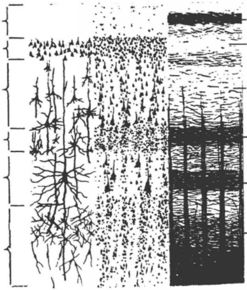


图5－36　大脑皮质细胞和纤维分层

Ⅰ. 分子层（molecular layer）或丛层（plexiform layer）：约占皮层全厚的10%，此层细胞稀少，仅有散在的水平细胞和星状细胞。主要含有密集的神经纤维，这些神经纤维来自深层。按纤维分层，称切线层。

Ⅱ. 外颗粒层（external granular layer）：占皮质厚度的9%，主要含有密集的颗粒细胞和

小锥体细胞。本层髓纤维很少，又称无纤维层。

Ⅲ. 外锥体层（external pyramidal layer）：约占皮质厚度的1/3，此层主要含大量典型的锥体细胞。浅层为中型锥体细胞，深层为大型锥体细胞。锥体细胞的树突进入分子层，轴突进入髓质，形成联络纤维和连合纤维。按纤维分层称纹上层。

Ⅳ. 内颗粒层（internal granular layer）：主要含有大量星状细胞（如高尔基Ⅱ型）和一些小锥体细胞。发自丘脑的特异性传入纤维多与星状细胞形成突触。此层在感觉区较厚，约占皮质全厚的10%。按纤维分层称外纹层。

Ⅴ. 内锥体层（internal pyramidal layer）或节细胞层（ganglionic layer）：占皮质厚度的20%，含有典型的大、中型锥体细胞，在中央前回尚有特大型锥体细胞，称贝茨（Betz）细胞。锥体细胞的轴突多进入髓质，形成投射纤维，也有少数形成连合纤维。按纤维分层称内纹层。

Ⅵ. 多形细胞层（梭形层）（multiform or fusiform/pleiomorphic layer）：占皮质厚度的20%，此层由形状不同的神经元组成，主要为梭形细胞、星状细胞和马缔诺蒂（Martinotti）细胞等。此层逐渐与深面的白质混合，两者界限不清。在纤维分层上称纹下层。

新皮质的6层结构又可区分为粒上层（Ⅰ～Ⅲ）、内颗粒层（Ⅳ）和粒下层（Ⅴ、Ⅵ）。皮质的传入纤维主要终止于内颗粒层（Ⅳ），包括来自丘脑的特异性传入投射纤维。粒上层（Ⅱ～Ⅲ层）在人脑最为发达（古皮质和旧皮质无此层），接受传入信息，发出联络纤维和连合纤维，实现皮质内联系。粒下层则主要借传出的投射纤维联系皮质下结构，控制躯体和内脏运动。

（2）大脑皮质神经元间的相互联系　大脑皮质各层内神经元之间相互作用的方式和途径是多种多样的，相互关系极为复杂，可概括如下。（图5－37）

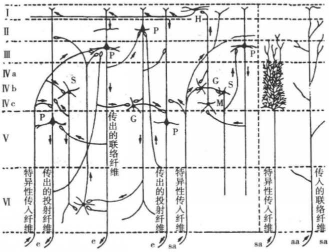


图5－37　大脑皮质神经元间的相互联系

①反馈：如第Ⅵ层的 Martinotti 细胞可由第Ⅱ层锥体细胞的轴突接受信息，再通过其本身的轴突上升至浅层，与锥体细胞的树突形成突触，实行反馈调节。

②同步：如第Ⅰ层水平细胞的轴突可同时与多个锥体细胞的树突形成突触，产生同步效应。

③汇聚：如第Ⅳ层的颗粒细胞可同时接受来源不同的传入和传出纤维的侧支，进行整合。

④扩散：如来自背侧丘脑的同一根传入纤维可终止于Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ层的不同神经细胞，导致信息的广泛扩散。

⑤局部回路：在大脑皮质众多的各类神经元之间存在着大量的神经回路。例如，传入神经冲动作用于Ⅰ层的水平细胞，水平细胞通过其轴突将信息传给锥体细胞，锥体细胞通过其轴突发出冲动至皮质下结构，其轴突侧支可返回到Ⅲ、Ⅱ、Ⅰ层与皮质浅层发生联系，完成回路。

大脑皮质内的局部回路是协调大脑神经活动的重要途径，也是分析、储存神经信息的物质基础。正是由于大脑皮质神经元之间这种广泛而复杂的神经环路，才使大脑皮质具有高度的分析和综合能力，从而完成复杂的思维和语言活动。

（3）大脑皮质的分区和分型　人类的大脑皮质大部分脑区为6层，但由于各部位的功能不同，因而在不同的部位其各层的薄厚、纤维的疏密、细胞的分布存在一定的差异。为了研究大脑皮质的结构与功能，学者们根据皮质细胞和纤维的构筑对大脑皮质进行了分区，各种分区的多少差异很大。如 Campbell（1905）将皮质分为20个区，Economo（1929）分为109区，Vogts 夫妇（1919）分为200多个区等。目前应用最广的是 Brodmann 分区法，将大脑皮质分为52个区（图5－38、39）。

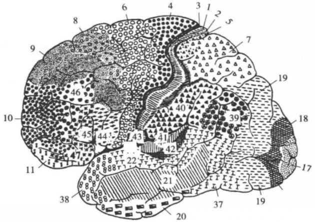


图5－38　大脑皮质的分区（外侧面）

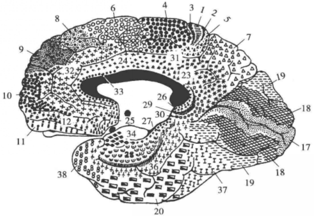


图5-39 大脑皮质的分区（内侧面）

人类大脑新皮质除了有6层结构外，Economo根据颗粒细胞和锥体细胞的发展和分布情况，将大脑皮质分为5种基本亚型：

①无颗粒型（agranular type）：在所有皮质层中最厚。第Ⅴ层的锥体细胞发育良好，有大量的传出轴突自锥体细胞发出，颗粒层（Ⅱ、Ⅳ层）因颗粒细胞少而薄或缺如，此型皮质的典型代表是中央前回。

②颗粒型（granular type）：是5型中最薄的皮质。颗粒层（Ⅱ、Ⅳ层）发达，颗粒细胞发育好，而锥体细胞较少。此型皮质特别与传入投射相联系，但也有传出投射。其典型的代表是中央后回（躯体感觉区）和视区。

③额型（frontal type）：此皮质型较厚，可分为6层结构。大量的中、小锥体细胞分布于Ⅲ、Ⅴ层，Ⅱ、Ⅵ层颗粒发育也好。此型皮质不局限于额前区，还分布于中央后回、顶上小叶等。

④顶型（parietal type）：6层结构分界清楚。含有较额型少的锥体细胞，因含有较多的星状细胞，则颗粒层较宽。这类皮质主要见于顶叶和额叶的大部。

⑤脑极型（polartype）：是指额极和枕极附近的小区皮质，最薄，但所有6层均有，多形层发育较好，锥体细胞层（Ⅲ层）较薄。

（4）大脑皮质的功能定位　大脑皮质是脑进行高级神经活动的物质基础，通过大量的实验研究和临床观察发现，机体的各种功能活动在大脑皮质都具有定位关系，大脑皮质内执行特定功能的脑区，又称为中枢。这些脑区只是执行某种功能的核心部位，皮质的其他部位也有类似的功能。例如当某一脑区损伤，其他有关脑区可在一定程度上代偿其功能。因此，大脑皮质功能定位的概念是相对的。重要的中枢简述如下：

1）第1躯体运动中枢（first somatic motor area）：位于中央前回和中央旁小叶前部，包括Brodmann分区的第4区和6区（图5-40、41、42）。是控制骨骼肌随意运动的最高中枢。其管理骨骼肌随意运动具有以下特点：

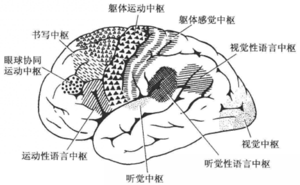


图 5－40　大脑皮质的中枢（上外侧面）

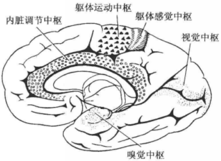


图 5－41　大脑皮质的中枢（内侧面）

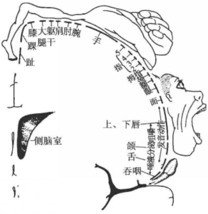


图 5－42　人体各部在第 1 躯体运动中枢的定位

①交叉性支配：即一侧运动中枢支配对侧肢体的运动，但一些与联合运动有关的肌肉则

受两侧运动中枢支配，如眼球外肌、咽喉肌、咀嚼肌等。

②倒置性支配：人体各部代表区与各部的关系，犹如头在下、脚在上的倒立人形，但头面部的投影仍然是正的。即中央前回最上部和中央旁小叶前部支配下肢肌；中央前回中部与躯干和上肢的运动有关，中央前回下部支配面、舌、咽、喉肌运动。

③身体各部位在皮质代表区的大小取决于其功能的重要性和运动的复杂精细程度，而与各部形体大小无关。

该中枢还接受中央后回、背侧丘脑腹前核、腹外侧核和腹后核的纤维，发出的纤维组成锥体束，至脑干运动核和脊髓前角。

2）第1躯体感觉中枢（first somatic sensory area）：位于中央后回和中央旁小叶后部（3、1、2区）（图5－40、41、43），接受背侧丘脑腹后核传来的对侧半身痛、温、触、压觉以及位置和运动觉。身体各部投影和第1躯体运动中枢相似，身体各部在此部的投射特点是：

①交叉性：此中枢一侧接受对侧半身的感觉。

②倒置性：身体各部在此中枢的投影也是上下颠倒，但头部是正的。

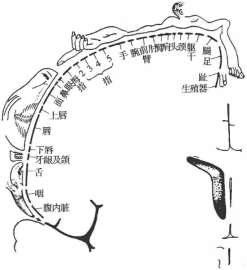


图5－43　人体各部在第1躯体感觉中枢的定位

③身体各部在该中枢投射范围的大小取决于该部感觉敏感程度。例如手指和唇的感受器最密，在感觉中枢的投射范围也最大。

在人类还有第2躯体运动中枢和第2躯体感觉中枢，它们分别位于中央前回和中央后回下面的岛盖皮质，与对侧上、下肢运动和双侧躯体感觉（以对侧为主）有关。

3）视觉中枢（visual area）：位于距状沟上下的枕叶皮质，即上方的楔叶和下方的舌回上（17区）（图5－40、41），接受来自外侧膝状体的视辐射纤维。此区为第1视觉中枢，

亦称纹区。局部定位关系是：距状沟上方的视皮质接受上部视网膜传来的冲动；下方的视皮质接受下部视网膜传来的冲动；距状沟后1/3上、下方接受黄斑区来的冲动。一侧视觉中枢接受双眼同侧半视网膜来的冲动，损伤一侧视觉中枢可引起双眼对侧视野同向性偏盲。

4）听觉中枢（auditory area）：位于颞横回（41、42区），接受内侧膝状体来的听辐射纤维（图5－40）。每侧的听觉中枢都接受来自两耳的冲动，但以对侧为主，因此一侧听觉中枢受损，不致引起全聋。

5）语言中枢（speech area）：人类大脑皮质与动物的本质区别是能进行思维和意识等高级活动，并用语言进行表达，因此在人类的大脑皮质还存在特有的语言中枢（图5－40）。语言是在劳动中形成的，一般认为善于用右手的人语言中枢是在左侧半球，善于用左手的人语言中枢是在右侧半球，称有语言中枢的半球为“优势半球”，而另一侧为“非优势半球”。“非优势半球”主要感知非语言信息，如音乐、图形、情绪和时空概念。左、右大脑半球各有优势，它们互相协调和配合得以完成各种高级神经精神活动。在优势半球内有说话、听话、书写和阅读4种语言中枢。

①运动性语言中枢（motor speech area）：位于额下回后部（44、45区），又称Broca区或说话中枢。如果此中枢受损，患者失去说话能力，虽能发音，却不能说出具有意义的句子，称运动性失语症。

②书写中枢（writing area）：位于额中回的后部（8区），靠近中央前回的上肢代表区，特别是手的运动区。此中枢若受损，虽然手的运动功能仍然保存，但写字、绘图等精细动作发生障碍，称为失写症。

③听觉性语言中枢（auditory speech area）：又称感觉性语言中枢，位于颞上回后部（22区），能调整自己的语言和听取、理解别人的语言。此中枢受损后，患者听觉无障碍，虽能听到别人讲话，但不理解别人讲话的意思，同样也不能理解自己讲话的意思，故不能正确回答问题，称其为感觉性失语症。

④视觉性语言中枢（visual speech area）：又称阅读中枢，位于角回（39区），靠近视觉中枢。此中枢受损时，视觉没有障碍，但不理解文字符号的意义，称为失读症。

研究表明听觉性语言中枢和视觉性语言中枢之间没有明显界限，有学者将它们统称Wernicke区，该区包括颞上回、颞中回后部、缘上回以及角回。Wernicke区损伤，将产生严重的感觉性失语症。此外，各语言中枢不是彼此孤立存在的，它们之间有着密切的联系，语言能力需要大脑皮质有关区域的协调配合才能完成。

6）平衡觉中枢（vestibular area）：关于此中枢的位置存有争议，一般认为在颞上回，听觉中枢前方的大脑皮质。刺激此中枢可有眩晕和平衡失常的感觉。

7）嗅觉中枢（olfactory area）：位于海马旁回钩的内侧部及其附近区（图5－41）。

8）味觉中枢（gustatory area）：可能在中央后回下方及岛叶皮质。

9）内脏调节中枢：一般认为在边缘叶，在此叶的皮质区可找到呼吸、血压、瞳孔、胃肠和膀胱等各种内脏活动的代表区。因此有人认为，边缘叶是自主神经功能调节的高级中枢（图5－41）。

除上述的特定功能脑中枢（区）外，大脑皮质还存在着广泛的脑区，它们不局限于某

种特定功能，而是对各种信息进行加工、整合，以完成更复杂和高级的神经精神活动，这些脑区称联络区。联络区在高等动物脑内显著增多。在大脑皮质的联络区中，额叶的功能与躯体运动、发音、语言及高级思维活动有关。顶叶的功能与躯体感觉、味觉、语言等有关。枕叶与视觉信息的整合有关。颞叶与听觉、语言和记忆功能有关。边缘叶与内脏活动有关。

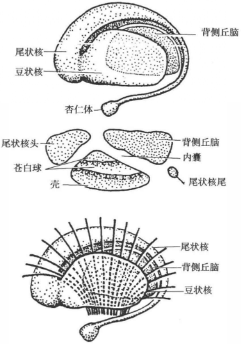


图5－44 基底核与背侧丘脑示意图

2. 基底核 基底核是位于大脑白质内的灰质团块，因其位置靠近大脑底部，故称基底核（图5－44）。包括豆状核、尾状核、杏仁体和屏状核等。

（1）尾状核（caudate nucleus） 形似蝌蚪，分为头、体、尾三部分。头部突入侧脑室前角，体位于丘脑背外侧，尾伸入颞叶构成侧脑室下角的顶，并与杏仁体相连。

（2）豆状核（lentiform nucleus） 位于岛叶深部，借内囊与内侧的尾状核和丘脑分开。此核在水平切面上呈底向外尖向内的楔形，被两个白质板分隔成三部，外侧部最大，称壳（putamen）；内侧两部分新鲜时呈白色，合称苍白球（globus pallidus）。

豆状核与尾状核合称纹状体（corpus striatum）。在种系发生上，苍白球在鱼类已出现，发生较早，为古老结构，称旧纹状体。尾状核及壳在爬行类才出现，发生较晚，在进化上较新，称新纹状体。纹状体是锥体外系的重要组成部分，在哺乳类以下的动物，是控制运动的最高中枢。在人类，由于大脑皮质的高度发展，纹状体已退居皮质下结构，是皮质下重要的运动整合中枢之一。当纹状体损伤后可产生肌张力增高、运动过少和肌张力降低、运动过多两种不同的症状。

当苍白球受损或黑质损伤累及苍白球时，常出现肌张力增高，典型病例为震颤麻痹，即帕金森病（Parkinson disease，PD）。主要表现为静止性震颤，肌张力增高，肢体震颤，运动过少、过缓；面部表情呆板，呈“假面具”状等症状。帕金森病主要病理改变为黑质－纹状体系神经细胞缺失，特别是黑质致密部多巴胺能神经元大量脱失。

而新纹状体受损时肌张力降低，运动过多，主要表现为快速、跳跃式和复杂多变的不随意运动，上肢和头部出现过多的不自主运动，无意识的挤眉弄眼，努嘴、吐舌等舞蹈症动作。

（3）屏状核（claustrum） 是一薄层灰质，位于岛叶皮质与壳之间。屏状核与壳之间的白质称外囊，屏状核与岛叶皮质之间的白质称最外囊（图5－45）。屏状核的功能尚不清楚。

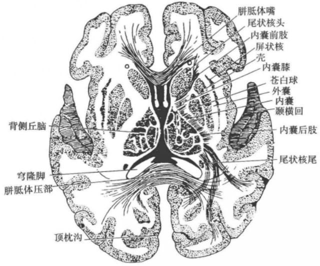


图 5-45　大脑半球的水平切面

（4）杏仁体（amygdaloid body）　位于侧脑室下角前端的上方，海马旁回钩的深面，与尾状核的尾部相连（图 5-44），属边缘系统。其纤维联系及功能见边缘系统。

3. 大脑髓质　大脑半球的髓质主要由大量的神经纤维组成，这些纤维长短、方向不一。根据纤维的传导行径和联系分为三类：

（1）联络纤维（association fibers）　是联系同侧半球内各部分皮质的纤维，包括联络相邻脑回的短纤维和联络同侧半球各叶的长纤维。短纤维又称弓状纤维。长纤维联系主要有：①钩束：连接额、颞两叶的前部；②上纵束：在豆状核与岛叶的上方，连接额、顶、枕、颞四个叶；③下纵束：沿侧脑室下角和后角的外侧壁走行，连接枕叶和颞叶；④扣带：位于扣带回和海马旁回的深部，连接边缘叶的各部（图 5-46、47）。

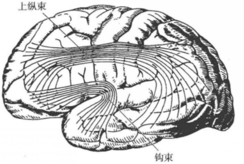


图 5-46　大脑的联络纤维外侧面



图 5－47　大脑的联络纤维内侧面

（2）连合纤维（commissural fibers）　是连接左、右半球皮质的横行纤维（图 5－48、49）。包括胼胝体、前连合和穹隆连合等。

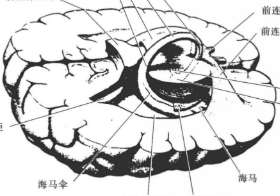


图 5－48　海马、前连合与穹隆

①胼胝体（corpus callosum）：是最大的连合纤维，位于大脑纵裂的底部，由连接左、右半球皮质的纤维组成。在正中矢状切面上呈钩形，自前向后可分为嘴、膝、干、压四部分，联系额、顶、颞、枕叶（图 5－47）。

②前连合（anterior commissure）：在正中矢状切面上，位于穹隆的前方，主要连接两侧颞叶，有小部分联系两侧嗅球（图 5－48）。

③穹隆连合（commissure of fornix）：也称海马连合（hippocampal commissure），是穹隆

中的一部分纤维，连接两侧海马（图 5-48）。

（3）投射纤维（projection fibers） 是大脑皮质与皮质下各部联系的上、下行纤维（图 5-49）。它的大部分都要经过内囊。

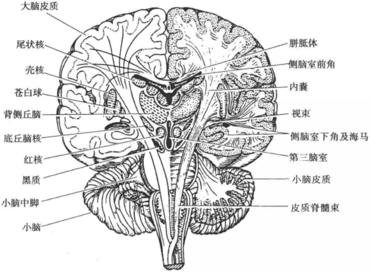


图 5-49 脑的冠状切面

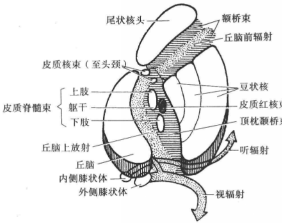


图 5-50 内囊模式图

内囊（internal capsule）是位于背侧丘脑、尾状核与豆状核之间的白质区（图 5-49、50）。在大脑半球的水平切面上，内囊呈“> <”形，分为内囊前肢、内囊膝和内囊后肢三部。内囊前肢伸向前外，位于豆状核与尾状核之间。经内囊前肢的投射纤维主要有额桥束

和丘脑前辐射。内囊后肢伸向后外，位于豆状核与丘脑之间。经内囊后肢投射的纤维主要有皮质脊髓束、皮质红核束、丘脑中央辐射、顶枕颞桥束、视辐射和听辐射等。内囊膝介于前、后肢之间的部分。经内囊膝部的投射纤维有皮质核束。

在内囊这一狭小脑区内，通过了大量的上、下行纤维。因此，当一侧内囊损伤时，患者会出现：①对侧半身的运动障碍（偏瘫），包括对侧下部面肌、舌肌核上瘫（皮质核束受损）和对侧上、下肢痉挛性瘫（皮质脊髓束受损）；②对侧偏身感觉障碍（丘脑皮质束受损）；③两眼对侧半视野同向性偏盲（视辐射受损），即所谓的“三偏”症状及其他严重的神经功能障碍（图5－54）。

4. 边缘系统 边缘系统（limbic system）是从法国解剖学家Broca（1878年）提出的边缘叶的概念衍生而来的。现在一般认为边缘系统由大脑皮质的边缘叶及与其有密切联系的皮质下结构共同组成。

（1）边缘叶（limbic lobe） 是指包绕在大脑与间脑交界处的边缘结构，一般认为包括隔区、扣带回、海马旁回、海马结构、岛叶前部及颞极等（图5－51）。

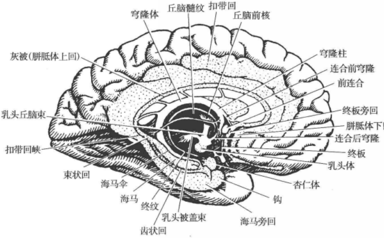


图5－51 边缘系统模式图

1）隔区（septal area）：位于胼胝体嘴的下方，包括前方的胼胝体下区（也称旁嗅区）和后方的胼胝体下回（也称终板旁回）。隔区的深方是皮质下核团——隔核（septal nuclei），它接受穹隆、终纹、前穿质、扣带回以及经前脑内侧束的中脑网状结构上行纤维，发出纤维投射到边缘系统各部皮质及脑干网状结构。因此，隔核被认为是各种冲动整合中枢，是边缘系统的重要核团之一，当刺激或损坏隔核时，可见动物愤怒反应、进食、性行为、生殖行为的改变。也有研究认为内侧隔核与学习、记忆关系密切。

2）海马结构（hippocampal formation）：位于半球的内侧面，属古皮质。包括海马、齿状回、下托和胼胝体上回。

① 海马结构的组成：海马又称Ammon角，也称海马本部。位于侧脑室下角底部，内侧

为下托和海马旁回。因在冠状切面形似海马而得名。

齿状回为一细长的皮质，位于海马内侧，海马旁回和钩的内上方。除内侧面外，均被海马所包绕。因内侧的游离面上有许多锯齿状小沟而得名。

下托（subiculum）是海马和海马旁回之间的过渡区，相当于海马旁回的上部。大部分海马旁回的皮质为6层结构，海马和齿状回为3层结构，下托居于两者的移行区，为4～5层。

胼胝体上回（supercallosal gyrus）因位于胼胝体上方而得名。此回两侧向外移行于扣带回；向前绕过胼胝体膝，移行于两侧胼胝体下回；向后绕过胼胝体压部，移行于两侧束状回。束状回向前移行为齿状回。

②海马皮质的结构：海马皮质的结构可分为3个基本层，由外向内依次为分子层、锥体层和多形细胞层。依据这3层的轴突和树突的排列，又分成了5个次级层，即分子层、腔隙层、辐射层、锥体层和多形层。锥体层由锥体细胞组成，是海马皮质中最为引人注意的主要细胞（图5－52）。锥体细胞的规则排列形式，似乎决定了海马的结构模式。海马的结构基本是一致的，但根据其各部之间存在的细胞形态、皮质发育的差异，又将海马分为CA_1、CA_2、CA_3和CA_4四个区。CA_1与下托相连，CA_4区邻接齿状回。CA_4区的锥体细胞最大，其次为CA_3区，CA_1区的锥体细胞最小，CA_2区为移行区。

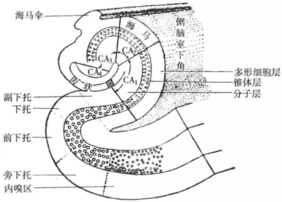


图5－52　海马、齿状回、下托的划分和皮质分层示意图

③海马结构的纤维联系：海马结构的传入纤维主要来源于内嗅区（海马旁回前部，相当Brodmamn 28区）、隔核、扣带回及对侧海马等。

海马结构的传出纤维主要是穹隆，人类的穹隆特别发达，纤维组成比较复杂。主要起自海马、下托和隔核，在海马内侧形成海马伞（fimbria of hippocampus），海马伞作为穹隆的起点弯向后上方，在胼胝体压部下方形成穹隆脚（crus of fornix），穹隆脚绕过丘脑后端左右会合为穹隆体（body of fornix）。在会合处有纤维越至对侧，称穹隆连合（commissure of fornix）或海马连合（hippocampal commissure）。穹隆体继续向前，进入下丘脑，然后再次分开，称穹隆柱（column of fornix），在前连合前又分为连合前穹隆（precommissural fornix）和连合后穹隆（postcommissural fornix），连合后穹隆较粗大，主要止于乳头体、丘脑前核；连合前穹

隆较弥散，分别止于隔区、丘脑前核、下丘脑前核及乳头体等（图5－48、51）。

（2）皮质下结构　包括杏仁体、隔核、下丘脑、背侧丘脑的前核和中脑被盖等。

杏仁体位于侧脑室下角前端上方，海马旁回钩的深面，豆状核的腹侧。杏仁体与嗅脑、大脑新皮质、隔核、背侧丘脑和下丘脑等有丰富的纤维联系（图5－44、51）。主要参与内脏及内分泌活动的调节、情绪活动。

（3）伏隔核（nucleus accumbens septi）　也称伏核（accumbens nucleus），位于基底核与边缘系统的临界处，隔区的外下方，尾壳核的内下方。是基底前脑的一个较大的核团，纤维联系与边缘系统较为密切，细胞构筑接近新纹状体，因此归属难定。其功能主要参与躯体运动、内脏活动的整合，并与镇痛有关。

边缘系统是发生上比较古老的脑部，结构和功能十分复杂，不仅与嗅觉有关，更与内脏活动、情绪行为活动和记忆等密切相关，在维持个体生存和种族生存（延续后代）方面亦发挥着重要的作用。由于边缘系统通过下丘脑影响内脏活动，故有人也将它称为“内脏脑”。

5. 侧脑室　侧脑室左右各一，位于大脑半球内，分为四部分。详见第八章。

（三）大脑损伤后的临床表现

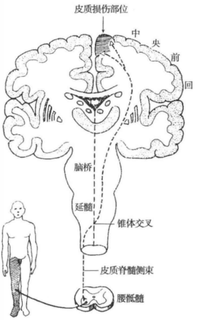


图5－53　中央前回上部损伤

1. 额叶损伤　额叶的主要功能与躯体运动、语言、智能及情绪等活动有关。

（1）额叶前部及眶回（额叶下面前中部）主要与精神活动有关，如思维、判断、情绪、记忆等有关，损伤后以精神障碍为主，出现记忆力减退、表情淡漠、反应迟钝等。

（2）中央前回和中央旁小叶前部受损可产生对侧运动障碍；因中央前回和中央旁小叶前部面积较广，一般病变常局限于某一部位，出现对侧单个肢体瘫痪，如臂、腿，临床上称单瘫（图5－53）。

2. 顶叶损伤　顶叶主要与躯体感觉有关，还有视性语言中枢和运用中枢等。

（1）顶叶中央后回和中央旁小叶后部为躯体感觉中枢，受损后产生对侧半身的两点区别觉和形体觉障碍；一般感觉障碍不明显。

（2）优势半球的角回（39区）为视性语言区，损伤后出现失读症。

（3）缘上回（40区）为运用区，此区损伤病人肢体能运动，不能完成有目的性的工作，丧失使用工具的能力。

3. 颞叶损伤　颞叶皮质的主要功能与听觉、语言和记忆有关。

（1）听觉中枢位于颞横回前部，一侧耳蜗的传入纤维投射到两侧大脑半球的听觉中枢，所以一侧听觉中枢受损不会引起耳聋，只轻微地影响听觉，但对音响的空间定位力（特别是判断声源的距离）及听觉印象的记忆力均减退。因为声源的空间定位是在听觉中枢进行分析综合的。

（2）感觉性语言中枢位于优势半球的颞上回后部（42区），感觉性语言中枢对有声语言进行综合分析，损伤后出现感觉性失语。若此区受刺激可产生幻听。由于书写和阅读都是在有声语言后获得的功能，所以在出现感觉性失语的同时，必然伴有书写和阅读障碍。

（3）颞前区（20、21、22和38区）位于颞叶前部，可能与记忆、联想等活动有关，此区受损出现记忆力障碍，主要是近记忆力丧失，而远记忆力保持完整无损。

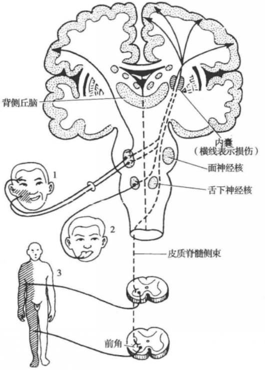
4. 枕叶损伤　枕叶主要为视觉中枢，主要视觉中枢位于距状沟两侧皮质（17区），在17区周围的18区、19区，它们都与17区有密切的联系。18、19区既是对视觉进行高级分析综合的中枢，也是与视觉有关的反射中枢，如瞳孔调节、视性反射头眼转动。损伤后出现瞳孔缩小、晶状体变厚、两眼运动不协调、视物不能理解领会等。

5. 内囊损伤　一侧内囊损伤，可引起：

（1）对侧半身的运动障碍（偏瘫），包括对侧下部面肌、舌肌核上瘫（皮质核束受损）和对侧上、下肢痉挛性瘫（皮质脊髓束受损）。

（2）对侧偏身感觉障碍（丘脑皮质束受损）。

（3）两眼对侧半视野同向性偏盲（视辐射受损），即所谓的“三偏”症状（图5－54）。



注：1. 对侧面神经核上瘫　2. 对侧舌下神经核下瘫　3. 对侧上下肢瘫

图5－54　一侧内囊损伤引起的瘫痪症状

第二节 脑 神 经

脑神经（cranial nerves）共12对，习惯上按其出入脑部位的前后，用罗马数字表示其次序。12对脑神经的次序和名称如下：Ⅰ嗅神经，Ⅱ视神经，Ⅲ动眼神经，Ⅳ滑车神经，Ⅴ三叉神经，Ⅵ展神经，Ⅶ面神经，Ⅷ前庭蜗神经，Ⅸ舌咽神经，Ⅹ迷走神经，Ⅺ副神经，Ⅻ舌下神经。（图5－55）

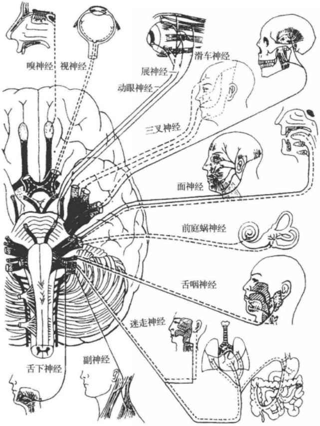


图5－55 脑神经概观

脑神经纤维成分较脊神经复杂，根据胚胎发生来源和功能特点划分为7种纤维成分。

1. 一般躯体感觉纤维（general somatic afferent） 分布于头面部皮肤、肌、肌腱、关节和口、鼻大部分黏膜；传导痛觉、温度觉、触觉和本体感觉。

2. 特殊躯体感觉纤维（special somatic afferent） 分布于外胚层衍化来的视器和前庭

蜗器；传导视觉、听觉和平衡觉。

3. 一般内脏感觉纤维（general visceral afferent）　分布于头、颈、胸、腹的脏器；传导头、颈、胸、腹部的内脏感觉。

4. 特殊内脏感觉纤维（special visceral afferent）　分布于味蕾和嗅器，传导味觉和嗅觉；因味觉和嗅觉与消化道的功能相关，将其归类为特殊内脏感觉纤维。

5. 一般躯体运动纤维（general somatic efferent ）　分布于眼球外肌、舌肌等由肌节衍化而来的横纹肌。

6. 一般内脏运动纤维（general visceral efferent）　分布于心肌、平滑肌和腺体，支配内脏运动，从相关脑神经核进入脑神经的一般内脏运动纤维属副交感纤维。Ⅲ、Ⅶ、Ⅸ、Ⅹ对脑神经的副交感纤维从中枢发出后，先终止于相应的副交感神经节，节内的神经元再发出纤维分布于该神经所支配的平滑肌 、心肌和腺体。

7. 特殊内脏运动纤维（special visceral efferent）　分布于肌节衍化而来横纹肌，包括咀嚼肌、面肌和咽喉肌等；支配它们的运动。

虽然 12 对脑神经包括 7 种纤维成分，但每对脑神经所含的纤维成分不尽相同，有的只含 1 种纤维，有的含 2 种，有的含 3～4 种纤维。根据各脑神经所含的纤维成分和功能，可把 12 对脑神经分为三类：一类为感觉神经，它们是嗅神经、视神经和前庭蜗神经；另一类为运动神经，它们是动眼神经、滑车神经、展神经、副神经和舌下神经；第三类为混合神经，它们是三叉神经、面神经、舌咽神经和迷走神经。

一、嗅神经

嗅神经（olfactory nerve）（图 5－56）传导嗅觉，属特殊内脏感觉纤维，由嗅细胞的中枢突组成。嗅细胞为双极神经元，位于上鼻甲及与其对应的鼻中隔嗅区黏膜内。嗅细胞的周围突伸向嗅黏膜表面，分布于鼻黏膜嗅区。中枢突无髓鞘，在黏膜下层形成丛状，然后集成 20 条小束，称为嗅丝。嗅丝穿过筛板上的筛孔，成嗅神经；入颅前窝，终止于嗅球。

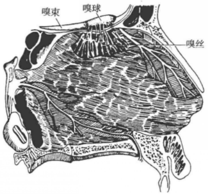


图 5－56　嗅神经

二、视神经

视神经（ optic nerve ）（图 5－57）传导视觉，属特殊躯体感觉纤维。

由视网膜神经节细胞的轴突在视神经盘处集聚，穿过视网膜外层、脉络膜、巩膜后集合成视神经。视神经穿过视神经管进入颅中窝，在垂体前方与对侧视神经形成视交叉。此交叉为不完全交叉，来自视网膜鼻侧的纤维交叉，来自视网膜颞侧的纤维不交叉，然后经视束连于间脑。

由于视器是胚胎发生时脑向外突出形成，视神经连于脑和眼球之间，因此，视神经外包有由脑膜延续来的三层被膜，并延续到眼球壁；脑的蛛网膜下隙也延伸至视神经周围。当颅内压增高时，压迫视神经，可导致视神经乳头水肿。

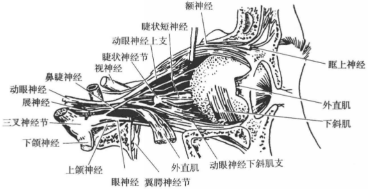


图 5－57　眶内的神经（外侧面）

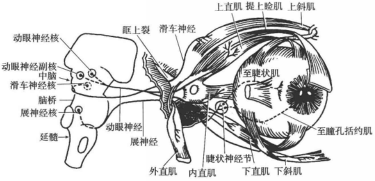


图 5－58　眶内的神经（右侧，上面）

三、动眼神经

动眼神经（oculomotor nerve）为运动性脑神经，含有一般躯体运动纤维和一般内脏运动

纤维；前者支配除上斜肌和外直肌以外的眼球外肌；后者支配瞳孔括约肌和睫状肌。

一般躯体运动纤维起于动眼神经核，一般内脏运动纤维起于动眼神经副核。动眼神经纤维由上述二核发出后，自脚间窝处出脑，向前穿眶上裂入眶，分成较细小的上支和较粗大的下支。动眼神经的上支支配上直肌和上睑提肌。动眼神经下支在眼眶内沿视神经的下方向前分支支配内直肌、下直肌和下斜肌。由下斜肌支分出一小支，到睫状神经节，称睫状神经节短根，内含副交感节前纤维，在睫状神经节交换神经元，节后纤维分布于睫状肌和瞳孔括约肌（图5－57）。

睫状神经节（ciliary ganglion）为扁平椭圆形的副交感神经节，约2mm×2mm大小，位于视神经与外直肌之间。有副交感、交感和感觉3个神经根进入。

①副交感根（parasympathetic root）即睫状神经节短根，来自动眼神经的副交感节前纤维，在睫状神经节内交换神经元，发出的节后纤维加入睫状短神经进入眼球，支配瞳孔括约肌和睫状体肌。②交感根（sympathetic root）来自颈内动脉交感丛，穿过该神经节，加入睫状短神经，支配瞳孔开大肌和眼球血管。③感觉根（sensory root）来自三叉神经的鼻睫神经，由节发出6～10条睫状短神经，向前进入眼球，传导眼球的一般感觉（图5－57、58）。

动眼神经损伤后，其支配的眼球外肌——提上睑肌、上直肌、内直肌、下直肌、下斜肌瘫痪；出现上睑下垂、瞳孔斜向外下方及瞳孔扩大、对光反射消失等症状。

四、滑车神经

滑车神经（trochlear nerve）是最细的脑神经，含一般躯体运动纤维，起自滑车神经核，其核发出的神经纤维向外、向背侧进入上髓帆，在中线上左右交叉，于下丘下方出脑，自中脑下丘下方出脑，绕大脑脚外侧前行，穿海绵窦外侧壁，经眶上裂入眶，支配上斜肌。滑车神经是唯一从脑干背侧出脑的脑神经（图5－58）。

滑车神经损伤可造成上斜肌麻痹，使眼球不能向外下方运动，俯视时有轻度内斜视和复视。因无法向下方侧视，故下坡或下楼时感到困难，为克服视觉障碍，患者常采取头向前倾，面转向健侧的代偿性体位。

五、三叉神经

三叉神经（trigeminal nerve）为最粗大的混合性脑神经，含一般躯体感觉和特殊内脏运动两种纤维。

三叉神经的特殊内脏运动纤维起于三叉神经运动核。由脑桥基底部与小脑中脚交界处，在三叉神经感觉根的下内侧出脑，紧贴三叉神经节下面进入下颌神经内，经卵圆孔出颅，随下颌神经分支分布于咀嚼肌。

运动根内还含有与三叉神经中脑核有联系的纤维，这类纤维由三叉神经中脑核内假单极神经元的周围突组成，称为三叉神经中脑根，一般认为三叉神经中脑根的纤维经三叉神经节时不中断；主要管理咀嚼肌，可能还有眼外肌和面肌的本体感觉。

三叉神经大部分纤维为一般躯体感觉纤维，其胞体位于三叉神经节（trigeminal ganglion）内。该节位于颅中窝颞骨岩部尖端前面的三叉神经压迹处，包被着硬脑膜。三叉神经

节由假单极神经元胞体组成，其中枢突组成粗大的三叉神经感觉根，在脑桥与脑桥臂交界处入脑，止于三叉神经感觉核，传导痛温觉的纤维主要终止于三叉神经脊束核；传导触觉的纤维主要终止于三叉神经脑桥核。三叉神经节细胞的周围突组成三叉神经三大分支即眼神经、上颌神经和下颌神经，分布于面部皮肤、眼及眶内、口腔、鼻腔、鼻旁窦的黏膜、牙、脑膜等，传导痛、温、触等多种感觉（图5－59）。

（一）眼神经

眼神经（ophthalmic nerve）（图5－57、59、60）仅含一般躯体感觉纤维，自三叉神经节发出后，穿行海绵窦外侧壁，在伴行的动眼神经、滑车神经的下方，经眶上裂入眶，分支分布于眶、眼球、泪腺、结膜、硬脑膜、部分鼻黏膜、额顶部及上睑和鼻背部的皮肤。眼神经分支如下：

1. 额神经（frontal nerve） 是眼神经分支中最上面的一支，较粗大，在上睑提肌上方前行，分出2～3个分支，其中最大一支为眶上神经（supraorbital nerve），经眶上切迹（或孔）至额顶部及上睑皮肤。另一支为滑车上神经（supratrochlear nerve），向前内方，经滑车上方出眶，分布于鼻背、内眦附近皮肤。

2. 泪腺神经（lacrimal nerve） 较细小，发出后沿眶外侧壁、外直肌上缘前行，分布于泪腺和外眦附近皮肤。

3. 鼻睫神经（nasociliary nerve） 在视神经和内直肌之间前行，至眶内侧壁发出滑车下神经（infratrochlear nerve），分布于鼻背、眼睑皮肤及泪囊；发出筛前神经（anterior ethmoidal nerve）、筛后神经（posterior ethmoidal nerve），分布至筛窦、蝶窦、鼻腔黏膜及硬脑膜；发出睫状长神经（long ciliary nerve），在眼球后方，穿巩膜入眼球，分布于睫状体、虹膜和角膜。

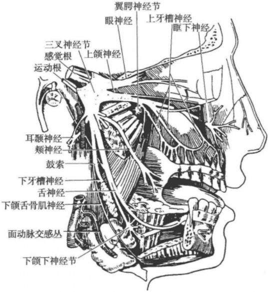


图5－59　三叉神经的分支及分布

（二）上颌神经

上颌神经（maxillary nerve）（图5－59、60）上由躯体感觉纤维组成，自三叉神经节发出后，向前进入海绵窦外侧壁，经圆孔出颅，进入翼腭窝，再经眶下裂入眶，延续为眶下神经。上颌神经主要分布于硬脑膜、上颌牙齿、口腔和鼻腔黏膜、睑裂与口裂之间的皮肤。其主要分支如下：

1. 眶下神经（infraorbital nerve） 为上颌神经的主干，经眶下裂入眶后，经眶下沟、眶下管，出眶下孔分成数支，分布于下睑、鼻翼、上唇与颊部的皮肤和黏膜。行进中分出上牙槽前神经（anterior superior alveolar nerve）和上牙槽中神经（middle superior alveolar nerve）。

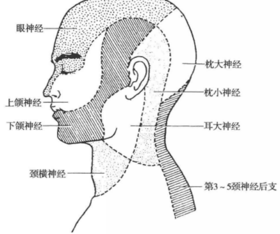


图5－60　三叉神经头面部皮肤分布

2. 颧神经（zygomatic nerve） 较细小，于翼腭窝处分出，经眶下裂入眶，沿眶外侧壁前行，发出两个分支，颧面支（zygomaticofacial branch）分布于颊部皮肤；颧颞支（zygomaticotemporal branch）分布于颞区前部皮肤，另分出一交通支与来自面神经的副交感节后纤维分布至泪腺。

3. 翼腭神经（pterygopalatine nerves） 也称神经节支（ganglionic branches），为2～3条细小神经，自上颌神经行至翼腭窝，连于翼腭神经节（pterygopalatine ganglion）。其中小部分纤维穿过神经节，大部分纤维贴神经节内面，分布于腭、鼻、咽腔的黏膜及腭扁桃体，传导这些区域的感觉冲动。

4. 上牙槽后神经（posterior superior alveolar nerve） 在上颌神经进入眶下沟之前发出，一般为2～3支。一支在上颌骨体的后面下降，分布于上颌磨牙的牙龈和颊部黏膜；其他分支与上牙槽中神经、上牙槽前神经互相吻合形成上牙丛，分支至上颌牙齿、牙龈及上颌窦黏膜。

（三）下颌神经

下颌神经（mandibular nerve）（图5－59、60）是三叉神经三个分支中最大的一支，为含一般

躯体感觉纤维和特殊内脏运动纤维的混合性神经。感觉根粗大，运动根细小。从卵圆孔出颅，出颅两根合并为一短干，然后分为前、后两干。前干细小，除分支支配咀嚼肌、鼓膜张肌外，还发出颊神经。后干粗大，发出分支支配硬脑膜、下颌牙齿及牙龈、舌前2/3及口腔底黏膜、耳颞区和口裂以下皮肤，此外另有一支支配下颌舌骨肌和二腹肌。下颌神经分支如下：

1. 耳颞神经（auriculotemporal nerve） 起于下颌神经后干，以两根夹持脑膜中动脉合成一干，然后经下颌颈内侧，与颞浅血管伴行，穿腮腺，分支分布于下颌关节、外耳道及耳郭皮肤、腮腺；其终末支为颞浅神经，经耳前向上分布于颞区皮肤。耳颞神经将与来自舌咽神经的副交感纤维一起进入腮腺。

2. 颊神经（buccal nerve） 是下颌神经前干的分支，为感觉神经。沿颊肌外面前行，分布于颊部皮肤和黏膜。颊神经在颊肌表面的分支与面神经的颊支交织，面神经纤维支配颊肌运动。

3. 舌神经（lingual nerve） 从下颌神经后干分出后，在下颌支内侧下降，呈弓形越过下颌下腺上方，前行达口腔黏膜深面，分布于口腔底及舌前2/3黏膜，传导一般感觉。在舌神经的行程中有来自面神经的鼓索加入，将面神经中的副交感纤维和味觉纤维导入舌神经，并随舌神经分布至舌前2/3黏膜，管理舌前2/3的味觉。副交感纤维在舌神经途经下颌下腺时，向下分出至下颌下神经节，换神经元后，节后纤维控制下颌下腺和舌下腺的分泌。

4. 下牙槽神经（inferior alveolar nerve） 为混合性神经，在舌神经后方，沿翼内肌外侧下行，穿下颌孔入下颌管，在管内分支组成下牙丛，分支分布于下颌牙及牙龈，其终支自颏孔穿出，称颏神经（mental nerve），分布于颏部及下唇的皮肤和黏膜。在下牙槽神经尚未进入下颌管之前，发出下颌舌骨神经，该神经含运动纤维，支配下颌舌骨肌及二腹肌前腹。

5. 咀嚼肌神经 属运动性，分支有咬肌神经（masseteric nerve）、颞深神经（deep temporal nerve）、翼内肌神经（medial pterygoid nerve）、翼外肌神经（lateral pterygoid nerve），分别支配相应的咀嚼肌。

当一侧三叉神经完全损伤时，出现同侧面部皮肤及口、鼻腔黏膜感觉消失，角膜反射消失；同侧咀嚼肌瘫痪、萎缩，张口时下颌偏向患侧。三叉神经痛时，压迫眶上孔、眶下孔和颏孔可有明显压痛。

六、展神经

展神经（abducent nerve）属一般躯体运动神经，起于展神经核，于脑桥延髓沟中线两侧出脑，前行至颞骨岩部尖端入海绵窦，经眶上裂入眶，支配眼外直肌（图5－58）。展神经受损伤时，外直肌瘫痪。因眼不能外展而导致内斜视。

七、面神经

面神经（facial nerve）为混合性脑神经，包括特殊内脏运动纤维、一般内脏运动纤维、特殊内脏感觉纤维和一般躯体感觉纤维4种纤维成分：

①特殊内脏运动纤维起于面神经核，主要支配面肌的运动。

②一般内脏运动纤维起于上泌涎核，其发出的副交感节前纤维至翼腭神经节和下颌下神经节，换元后的节后纤维分布于泪腺、下颌下腺、舌下腺及鼻、腭的黏膜腺等，司这些腺体的分泌。

③特殊内脏感觉纤维的神经元胞体位于膝神经节，为假单极神经元，周围突分布于舌前2/3 黏膜的味蕾，中枢突止于孤束核上部，司味觉。

④一般躯体感觉纤维的神经元胞体也位于膝神经节，也为假单极神经元，周围突分布于外耳道、耳后皮肤及面肌，中枢突止于三叉神经脊束核，司外耳道和耳后皮肤的一般躯体感觉及面肌的本体感觉。

面神经由两个根组成，一个是较大的运动根，另一个是较小的中间神经（由感觉纤维和副交感纤维组成），自脑桥延髓沟外侧出脑，与前庭蜗神经同行，进入内耳门，两根合为一个干，穿过内耳道底进入面神经管，经鼓室内侧壁后上方，再转向下，经茎乳孔出颅，向前穿腮腺到达面部。在面神经管起始处，有膨大的膝神经节（geniculate ganglion）。

（一）面神经管内的分支（图 5－61）

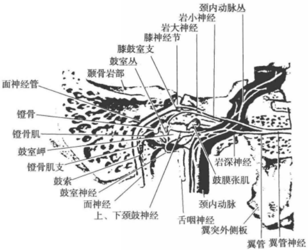


图 5－61　面神经在面神经管的分支

1. 鼓索（chorda tympani）　在面神经出茎乳孔前自面神经干发出。向前上行，进入鼓室，然后又从鼓室穿出，并入三叉神经的分支舌神经中，随其走行分布。鼓索含味觉和副交感两种纤维，味觉纤维随舌神经分布于舌前 2/3 的味蕾，传导味觉冲动；副交感节前纤维进入舌神经下方的下颌下神经节，换元后，节后纤维分布于下颌下腺和舌下腺，支配腺体分泌。

2. 岩大神经（greater petrosal nerve）　也称岩浅大神经，含有特殊内脏感觉纤维和副交感纤维，特殊内脏感觉纤维由膝神经节细胞的周围突组成，分布于腭和鼻腔后部黏膜，司味觉。副交感节前纤维起自上泌涎核至翼腭神经节交换神经元，节后纤维司泪腺、腭和鼻腔黏膜腺体分泌。

岩大神经自膝神经节处分出后，向前行入颅中窝，在颞骨岩部前面经三叉神经节深面，穿出颞骨至颅底，在此，与来自颈内动脉交感丛的岩深神经（deep petrosal nerve）合成翼管神经（nerve of pterygoid canal），穿翼管，前行至翼腭窝，进入翼腭神经节，副交感纤维在

此换元，节后纤维随神经节的一些分支及三叉神经的分支到达泪腺、腭及鼻黏膜的腺体；特殊内脏感觉纤维穿神经节时不中断，到达腭和鼻腔后部黏膜。

3. 镫骨肌神经（stapedial nerve） 在面神经管内发出，沿鼓室后壁下降至镫骨肌，支配镫骨肌运动。

（二）面神经管外的分支（图 5－62）

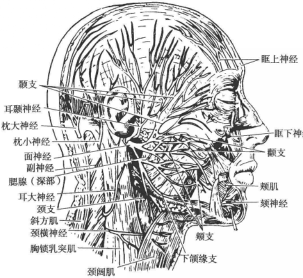


图 5－62 面神经的分支及分布

面神经出茎乳孔后即发出耳后神经（posterior auricular nerve）支配耳周围肌、枕肌；发出二腹肌支（digastric branch）支配二腹肌后腹；发出茎突舌骨肌支（stylohyoid branch），支配茎突舌骨肌。面神经主干前行进入腮腺实质内，在腺内分支组成腮腺丛（parotid plexus），由丛分出分支，呈辐射状分布于面部诸表情肌，支配表情肌运动。

1. 颞支（temporal branches） 向上越颧弓至颞区，分布于额肌、眼轮匝肌等。

2. 颧支（zygomatic branches） 由腮腺前缘浅出后前行，越颧弓至外眦，分布于眼轮匝肌、颧肌。

3. 颊支（buccal branches） 出腮腺前缘后，以水平前行，支配颊肌、口轮匝肌及其他口周围肌。

4. 下颌缘支（marginal mandibular branch） 出腮腺前缘后，向前下方行，沿下颌骨下缘前行，分布于下唇诸肌。

5. 颈支（cervical branch） 自腮腺下部发出，在下颌角附近，下行于颈阔肌深面，支配该肌。

（三）副交感神经节

属面神经的副交感神经节有翼腭神经节和下颌下神经节（图5－63）。

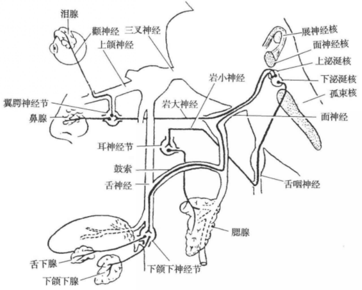


图5－63　头部腺体副交感纤维来源模式图

1. 翼腭神经节（pterygopalatine ganglion）　也称蝶腭神经节，位于翼腭窝内，上颌神经的下方，为一不规则扁平小结。有副交感、交感和感觉3个神经根连于此节。

①副交感根：来自面神经的岩大神经，与岩深神经结合为翼管神经至翼腭神经节，在节内换元，换元后的节后纤维分布于泪腺及腭、鼻腔黏膜腺体，司腺体分泌。

②交感根：来自颈内动脉交感丛的岩深神经，为交感颈上神经节的发出的节后纤维，与岩大神经结合为翼管神经，穿过翼腭神经节，分布于泪腺、腭、鼻腔等黏膜腺体的血管平滑肌。

③感觉根：来自上颌神经的翼腭神经。穿翼腭神经节，分布于泪腺、腭、鼻腔黏膜，传导一般感觉。

2. 下颌下神经节（submandibular ganglion）　位于下颌下腺与舌神经之间，有副交感、交感和感觉3个神经根与此神经节相连。

①副交感根：来自上泌涎核的副交感节前纤维鼓索，经舌神经至下颌下神经节，交换神经元后，节后纤维支配下颌下腺与舌下腺的腺体分泌。

②交感根：来自面动脉的交感丛，为交感颈上神经节发出的节后纤维，穿过下颌下神经节，支配舌下腺和下颌下腺的血管平滑肌。

③感觉根：来自三叉神经的舌神经，穿过下颌下神经节，分布于下颌下腺、舌下腺和舌，管理一般感觉。



（1）露牙时症状更为显著，口角歪向健侧，患侧鼻唇沟变浅或消失，眼裂变大。
（2）闭眼时，患侧不能闭眼。
图5－64　左侧面神经麻痹

由于面神经行程较长，因损伤的部位不同，所引起的症状也有所差异。如面神经出茎乳孔后损伤，主要临床症状为面肌瘫痪，表现为患侧额纹消失，皱眉不能；睑裂不能闭合，角膜反射消失；鼻唇沟变浅或消失，口角下垂，发笑时口角歪向健侧；不能吹哨和鼓腮(图5－64)。如面神经在面神经管内损伤，除有面神经周围性瘫外，还伴有其他不同症状：由于中间神经损伤，有舌前2/3味觉障碍，唾液腺和泪腺分泌障碍；由于镫骨肌神经损伤，出现听觉过敏。

八、前庭蜗神经

前庭蜗神经（vestibulocochlear nerve）又称位听神经，属特殊躯体感觉神经，由传导平衡觉和听觉的特殊躯体感觉纤维组成，分为前庭神经和蜗神经两部分。前庭神经与姿势和平衡功能有关，蜗神经与听觉功能有关。虽然功能不同，但两者结构上关系密切。

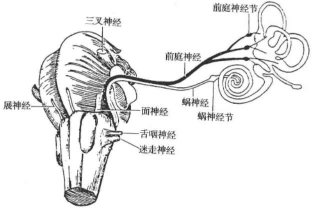


图5－65　前庭蜗神经的分布图

（一）前庭神经

前庭神经（vestibular nerve）传导平衡觉。其胞体位于内耳道底的前庭神经节（vestibular ganglion）。由双极神经元组成，其周围突穿内耳底，发出纤维分布于椭圆囊斑、球囊斑和壶腹嵴（图5-65），中枢突组成前庭神经，与蜗神经同行，合并为前庭蜗神经经内耳门入颅，在脑桥延髓沟外侧部入脑，止于前庭神经核群和小脑。

（二）蜗神经

蜗神经（cochlear nerve）传导听觉。胞体位于蜗轴，聚集为蜗神经节（cochlear ganglion），又称螺旋神经节（spiral ganglion of cochlea），为双极神经元，其周围突分布至内耳基底膜上螺旋器的毛细胞，中枢突在蜗轴中聚成蜗神经，穿内耳道，与前庭神经合并，形成前庭蜗神经，在脑桥延髓沟外侧部入脑，终止于蜗神经诸核（图5-65）。

前庭蜗神经损伤后表现为伤侧耳聋和平衡功能障碍；由于前庭刺激可出现眩晕和眼球震颤。另外，又由于前庭与网状结构和植物性神经的联系，所以多同时伴有呕吐等症状。

九、舌咽神经

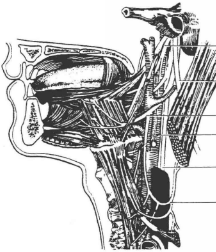


图5-66　舌咽神经、副神经、迷走神经和舌下神经

舌咽神经（glossopharyngeal nerve）为混合性脑神经，含有5种纤维成分。

特殊内脏运动纤维：起于疑核上部，其纤维支配茎突咽肌。

一般内脏运动纤维：起于下泌涎核，发出的副交感节前纤维经舌咽神经的耳神经节，在耳神经节内交换神经元后，节后纤维加入耳颞神经，支配腮腺分泌。

一般内脏感觉纤维：其神经元胞体位于颈静脉孔下方的舌咽神经下神经节（inferior ganglion），为假单极神经元。其周围突分布于咽、舌后1/3、咽鼓管和鼓室等处黏膜，以及颈动脉窦和颈动脉小球。中枢突终于孤束核的尾侧部，传导一般内脏感觉。

特殊内脏感觉纤维：其神经元胞体也位于下神经节，周围突分布于舌后1/3的味蕾，中枢突终止于孤束核上部，传导味觉。

一般躯体感觉纤维：很少，其神经元胞体位于颈静脉孔上方的上神经节（superior ganglion）内，周围突分布于耳后皮肤，中枢突入脑后止于三叉神经脊束核。

舌咽神经在延髓橄榄后部出脑，经颈静脉孔出颅。出颅后先在颈内动、静脉间下降，然后弓形向前，经舌骨舌肌内侧达舌根。其主要分支如下（图5－61、66）：

1. 鼓室神经（tympanic nerve） 发自下神经节，入鼓室后，在鼓室内侧壁黏膜内与交感神经纤维共同形成鼓室丛，发数小支分布于鼓室、乳突小房和咽鼓管黏膜，传导一般内脏感觉。鼓室神经的终支为岩小神经（lesser petrosal nerve），含来自下泌涎核的副交感纤维，出鼓室，前行至耳神经节换元，其节后纤维伴三叉神经的分支耳颞神经走行，分布于腮腺，控制其分泌。

2. 颈动脉窦支（carotid sinus branch） 在颈静脉孔下方发出后，沿颈内动脉下行分布于颈动脉窦和颈动脉小球，颈动脉窦为压力感受器，颈动脉小球为化学感受器，此神经可将血压和二氧化碳浓度的变化传入中枢，反射性地调节血压和呼吸。

3. 咽支（pharyngeal branches） 3～4条细支分布于咽壁，与迷走神经和交感神经交织成丛，由丛发分支分布咽肌及咽黏膜。

4. 舌支（lingual branches） 为舌咽神经终支，经舌骨舌肌深面分布于舌后1/3黏膜和味蕾，传导一般感觉和味觉。

此外，舌咽神经还发出扁桃体支和茎突咽肌支。

与舌咽神经有关的副交感神经节为耳神经节（otic ganglion），此节位于卵圆孔下方，下颌神经内侧，含有4个根：

①副交感根，来自岩小神经，此神经内含来自下泌涎核的副交感节前纤维，在节内换元后，节后纤维随耳颞神经至腮腺，支配腺体分泌。

②交感根，来自脑膜中动脉交感丛，为发自颈上交感神经节的节后纤维，在耳神经节穿越，与副交感纤维一起随耳颞神经分布，到达腮腺的血管。

③运动根，来自下颌神经的翼内肌神经运动支，支配鼓膜张肌和腭帆张肌。

④感觉根，来自耳颞神经，分布于腮腺，传导腮腺一般感觉。

一侧舌咽神经损伤表现为同侧舌后1/3味觉消失，舌根及咽峡区痛觉消失，同侧咽肌轻度瘫痪及软腭反射消失，腮腺分泌障碍，但由于舌下腺和下颌下腺分泌正常，不引起口渴。

十、迷走神经

迷走神经（vagus nerve）为混合性脑神经，是行程最长，分布最广的脑神经。含有四种纤维成分：

①一般内脏运动纤维：起于迷走神经背核，节前纤维随迷走神经分支分布于颈、胸、腹部器官，并在器官旁或器官内的副交感神经节交换神经元，节后纤维控制这些器官的平滑肌、心肌和腺体的活动。

②特殊内脏运动纤维：起于疑核，随迷走神经分布于咽肌、喉肌、腭肌和食管上段的横纹肌。

③一般内脏感觉纤维：其神经元胞体位于颈静脉孔下方的迷走神经下神经节（inferior ganglion）（又称结状神经节）内，为假单极神经元，其中枢突与面神经和舌咽神经的一般及特殊内脏感觉纤维共同组成孤束，终于孤束核；其周围突随迷走神经分支分布于颈、胸、腹部的多种器官，传导一般内脏感觉冲动。

④一般躯体感觉纤维：其神经元胞体位于颈静脉孔内的迷走神经上神经节（superior ganglion）内，也为假单极神经元，中枢突入脑止于三叉神经脊束核，周围突随迷走神经分支分布于硬脑膜、耳郭及外耳道皮肤，传导一般感觉。

迷走神经在延髓橄榄后沟的中部出脑，经颈静脉孔出颅，在此处有膨大的迷走神经上、下神经节。出颅后的迷走神经干走在颈内静脉与颈内动脉或颈总动脉之间的后方，经胸廓上口入胸腔，左、右迷走神经分别位于气管的左、右侧，经左、右肺根的后方，沿食管下降。左迷走神经在食管前面分成许多细支，构成左肺丛和食管前丛，食管前丛在食管下段又逐渐集中延续为迷走神经前干（anterior vagal trunk）。右迷走神经走在食管后面，分支构成右肺丛和食管后丛，继续下行集中，构成迷走神经后干（posterior vagal trunk）。迷走神经前、后干伴食管一起穿膈肌食管裂孔进入腹腔，分布于胃前、后壁，其终支为腹腔支，与交感神经构成腹腔丛。

迷走神经沿途发出许多分支，其中较重要的分支如下（图5－67）：

（一）头、颈部的分支

1. 脑膜支（meningeal branch）　起于迷走神经上神经节，从颈静脉孔入颅腔，分布于颅后窝的硬脑膜、横窦及枕窦，传导一般感觉。

2. 耳支（auricular branch）　亦起自迷走神经上神经节，与舌咽神经上神经节所发出的耳支相结合，分布到耳郭和外耳道皮肤。因此，刺激外耳道皮肤，可以引起咳嗽或呕吐等神经反射的现象。

3. 咽支（pharyngeal branch）　自迷走神经下神经节发出，咽支主要含特殊内脏运动纤维和部分内脏感觉纤维，与交感神经分支结合形成咽丛，分支支配部分咽肌运动，管理咽、腭部黏膜感觉。

4. 喉上神经（superior laryngeal nerve）　起于迷走神经下神经节，分布于咽、会厌、舌根及声门裂以上的喉黏膜，传导一般内脏感觉、味觉及部分喉肌（环甲肌）。

5. 颈心支（cardiac branches）　也称心支，分为上、下两支，与交感神经的心支结合形成心丛，调节心脏活动。上支还发出一分支，分布于主动脉弓壁内称主动脉神经或减压神经，感受血压变化和化学刺激，反射性调节心脏活动。

（三）胸部分支

1. 喉返神经（recurrent laryngeal nerve）　自主干发出后，右喉返神经绕过锁骨下动脉下方弯行至后方上行，返回颈部。左喉返神经发出部位较低，绕主动脉弓下后方上行，返回至颈部。在颈部左、右喉返神经均行于气管与食管之间的沟内，分别在甲状腺左、右侧叶后方入喉，称为喉下神经（inferior laryngeal nerve），发出分支分布于喉。其中特殊内脏运动纤维支配除环甲肌以外的全部喉肌，内脏感觉纤维分布于声门裂以下喉黏膜。喉返神经在行程中还发出心支、支气管支和食管支，分别参加心丛、肺丛和食管丛。

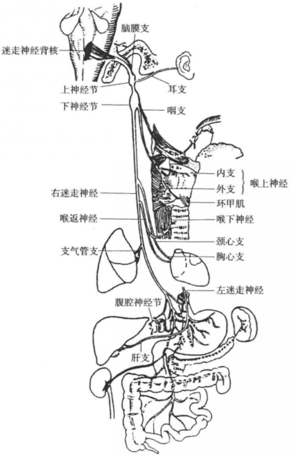


图5-67 迷走神经纤维成分及分布示意图

喉返神经支配大多数喉肌的运动，在入喉前与甲状腺下动脉及其分支相互交叉，在甲状腺手术中，分离或结扎甲状腺下动脉时，需注意避免损伤喉返神经，防止导致声音嘶哑。如两侧喉返神经同时受损，可引起失音、呼吸困难甚至窒息。

2. 支气管支（tracheal branches）和食管支（esophageal branches） 是左、右迷走神经在胸部发出的若干小支，与交感神经的分支共同构成肺丛和食管丛，两丛再发细支分布于气管、支气管、肺及食管。主要含内脏感觉纤维和内脏运动纤维，传导脏器和胸膜的感觉同时支配器官的平滑肌及腺体。

（四）腹部分支

迷走神经入腹腔后，前干达胃前面，后干在胃后面，然后分支至各器官，其主要分支：

1. 胃前支（anterior gastric branches） 发自迷走神经前干，分布于胃前壁。

2. 胃后支（posterior gastric branches）　发自迷走神经后干，沿途分支分布于胃后壁。

3. 肝支（hepatic branches）　发自迷走神经前干，向右行于小网膜内，参加构成肝丛，随肝固有动脉分支分布于肝、胆等结构。

4. 腹腔支（celiac branches）　为迷走神经后干的终支，向右行至腹腔干附近，与交感神经一起构成腹腔丛，伴腹腔干、肠系膜上动脉及肾动脉等血管分支分布于肝、胆、胰、脾、肾及结肠左曲以上的腹部消化管。

若迷走神经主干损伤，造成的内脏活动障碍表现为心悸、脉速、恶心、呕吐、呼吸节律深而慢、甚至窒息等；因咽喉感觉障碍和咽喉肌瘫痪，可出现声带麻痹、声音嘶哑、吞咽困难、软腭下垂，腭垂偏向健侧。

十一、副神经

副神经（accessory nerve）（图5－66）属运动性脑神经，由颅根和脊髓根组成。

颅根起自疑核尾端，为特殊内脏运动纤维，自迷走神经根下方出脑后，与脊髓根同行，经颈静脉孔出颅，加入迷走神经，支配咽喉肌。

脊髓根起自脊髓颈部的副神经核（accessory nucleus），也为特殊内脏运动纤维，由脊神经前、后根之间出脊髓，在椎管内上行，经枕骨大孔入颅腔，与颅根合成一短干，经颈静脉孔出颅后，再与颅根分离，行向外下方，分布于胸锁乳突肌和斜方肌，支配其运动。

副神经脊髓根损伤时，由于胸锁乳突肌瘫痪，使患者出现斜颈，表现为头弯向健侧，面向患侧仰的强迫性体位。斜方肌瘫痪，患侧肩胛骨下垂，耸肩困难。

十二、舌下神经

舌下神经（hypoglossal nerve）为运动性脑神经，主要由一般躯体运动纤维组成，起于舌下神经核（hypoglossal nucleus）。在锥体和橄榄之间出脑，经舌下神经管出颅，在颈内动、静脉之间下降（图5－66）。在下颌角平面，弓形向前至舌，支配全部舌内肌和大部分舌外肌（颏舌肌、舌骨舌肌等）。

一侧舌下神经损伤时，其主要表现为患侧舌肌瘫痪，伸舌时舌偏向患侧，缩舌时舌偏向健侧；若舌肌瘫痪时间过长，可造成舌肌萎缩。

附：十二对脑神经总结表

表5－2　十二对脑神经总结表

顺序及名称	成分	起核	终核	分布	损伤后症状
Ⅰ嗅神经	特殊内脏感觉		嗅球	鼻腔嗅黏膜	嗅觉障碍
Ⅱ视神经	特殊躯体感觉		外侧膝状体	眼球视网膜	视觉障碍
Ⅲ动眼神经	一般躯体运动	动眼神经核		上、下、内直肌和下斜肌，上睑提肌	眼外斜视，上睑下垂
	一般内脏运动	动眼神经副核		瞳孔括约肌、睫状肌	对光及调节反射消失
Ⅳ滑车神经	躯体运动	滑车神经核		上斜肌	眼不能外下斜视

（续表）

顺序及名称	成分	起核	终核	分布	损伤后症状
Ⅴ三叉神经	一般躯体感觉		三叉神经中脑核、三叉神经脑桥核、三叉神经脊束核	头面部皮肤，口腔、鼻腔黏膜，牙及牙龈眼球、硬脑膜	头面部痛觉、湿度觉、触觉障碍
	特殊内脏运动	三叉神经运动核		咀嚼肌、下颌舌骨肌、二腹肌前腹	咀嚼肌瘫痪
Ⅵ展神经	一般躯体运动	展神经核		外直肌	眼内斜视
Ⅶ面神经	特殊内脏运动	面神经核		面表情肌、颈阔肌、茎突舌骨肌、二腹肌后腹、镫骨肌	额纹消失、眼不能闭合、口角歪向健侧，鼻唇沟变浅等
	一般内脏运动	上泌涎核		泪腺、下颌下腺、舌下腺及鼻腔和腭的腺体	分泌障碍
	特殊内脏感觉		孤束核	舌前2/3味蕾	味觉障碍
Ⅷ前庭蜗神经	特殊躯体感觉		前庭神经核群	平衡器的半规管、壶腹嵴、球囊斑和椭圆囊斑	眩晕、眼球震颤等
	特殊躯体感觉		蜗神经核	耳蜗螺旋器	听力障碍
Ⅸ舌咽神经	特殊内脏运动	疑核		茎突咽肌	
	一般内脏运动	下泌涎核		腮腺	分泌障碍
	一般内脏感觉		孤束核	咽、鼓室、咽鼓管、软腭、舌后1/3的黏膜、颈动脉窦，颈动脉小球	咽后与舌后1/3感觉障碍、咽反射消失
	特殊内脏感觉		孤束核	舌后1/3味蕾	舌后1/3味觉丧失
Ⅹ迷走神经	一般内脏运动	迷走神经背核		胸腹腔内脏平滑肌、心肌、腺体	心动过速、内脏活动障碍
	特殊内脏运动	疑核		咽喉肌	发音困难、声音嘶哑、发呛、吞咽障碍
	一般内脏感觉		孤束核	胸腹腔脏器、咽喉黏膜	
	一般躯体感觉		三叉神经脊束核	硬脑膜，耳郭及外耳道皮肤	
Ⅺ副神经	特殊内脏运动	疑核		胸锁乳突肌、斜方肌	
	特殊内脏运动	副神经核		舌内肌和部分舌外肌	一侧胸锁乳突肌瘫痪头无力转向对侧；斜方肌瘫痪肩下垂、抬肩无力
Ⅻ舌下神经	一般躯体运动	舌下神经核		舌内肌和部分舌外肌	舌肌瘫痪、萎缩、伸舌时舌尖偏向患侧

第六章　脑和脊髓的传导通路

机体内、外各种感受器将接受的刺激转变为神经冲动，并将这种神经冲动经传入神经传至脊髓或脑干，最后至大脑皮质，产生感觉。另一方面，大脑皮质将这些感觉信息经过整合后，发出指令，下传至脑干或脊髓，再经脑干或脊髓的传出神经到达躯体和内脏的效应器，引起相应的反应。将各种刺激经传入神经传至脑的神经通路，称为感觉传导路或上行传导路。将脑至效应器的神经通路，称为运动传导路或下行传导路。脑和脊髓内的传导通路实际就是经过脑的长距离反射弧中传入和传出链索中的一部分。

第一节　感觉传导通路

一、本体感觉传导通路

本体感觉是指肌、腱、关节等处的位置觉、运动觉和震动觉，又称深感觉。包括意识性本体感觉和非意识性本体感觉。

（一）躯干和四肢意识性本体感觉

意识性本体感觉传导通路是指将本体感觉经中继后传到大脑皮质，引起感知本体感觉的传导通路。此外，在本体感觉传导通路中，还传导皮肤的精细触觉（包括辨别两点距离、物体大小、纹理粗细等感觉）（图 6－1）。此传导路是由三级神经元组成的。

第 1 级神经元：胞体位于脊神经节内，为假单极神经元，周围突分布于肌、腱、关节等处的本体觉感受器和皮肤的精细触觉感受器，中枢突经脊神经后根的内侧部，进入脊髓后索。来自第 5 胸节以下的纤维组成内侧的薄束，传导躯干下部和下肢的本体感觉和皮肤的精细触觉；来自第 4 胸节以上的纤维位于薄束外侧，组成楔束，传导躯干上部和上肢的本体感觉和皮肤的精细触觉。两束在脊髓后索上行，分别止于延髓的薄束核和楔束核。

第 2 级神经元：胞体位于薄束核和楔束核，由此二核发出的纤维弯向前内，形成内弓状纤维；绕过中央管的腹侧，在中线上与对侧纤维交叉，形成内侧丘系交叉，交叉后的纤维在中线两侧上行，称内侧丘系。内侧丘系经脑桥、中脑最后止于背侧丘脑的腹后外侧核。

第 3 级神经元：胞体位于背侧丘脑的腹后外侧核，由该核发出的纤维组成丘脑皮质束（也称丘脑顶叶束），加入丘脑中央辐射，经内囊后肢，投射到大脑皮质中央后回的中、上

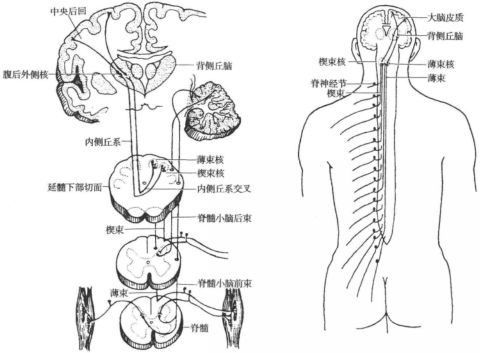


图 6－1　躯干和四肢意识性本体感觉和精细触觉传导通路

部和中央旁小叶后部，部分纤维投射至中央前回。

该通路若在脊髓内损伤，表现为损伤平面以下同侧的意识性本体觉障碍及皮肤精细触觉障碍；若在内侧丘系交叉以上一侧损伤，则表现为对侧半身意识性本体觉障碍及皮肤精细触觉障碍。

（二）躯干和四肢非意识性本体感觉传导通路

非意识性本体感觉传导路是指四肢和躯干本体觉感受器接受的信息经中继后传至小脑，不产生意识性感觉，而形成调节骨骼肌运动平衡和肌张力反射的传导通路，以维持身体平衡和姿势。有人称此通路为反射通路的上行部分，而传统教科书将其列为传导束。主要有脊髓小脑后束、脊髓小脑前束和楔小脑束。均由 2 级神经元组成（图 6－2）。

1. 脊髓小脑后束　第 1 级神经元胞体位于脊神经节内，为假单极神经元，其周围突分布于躯干下部和下肢的肌梭和腱器等处，中枢突经脊神经后根的内侧部进入脊髓，止于后角的胸核。

第 2 级神经元胞体位于胸核，由胸核发出的第 2 级纤维在同侧的外侧索后缘内上升，形成脊髓小脑后束，向上经小脑下脚进入旧小脑皮质。

2. 脊髓小脑前束　第 1 级神经元胞体也位于脊神经节内，周围突亦分布于躯干下部和下肢的肌梭和腱器等处，中枢突经脊神经后根的内侧部进入脊髓后，则止于腰骶膨大第Ⅴ～

Ⅶ层外侧部。

第2级神经元胞体主要位于脊髓腰、骶段灰质的第Ⅴ～Ⅶ层中，由腰骶段第Ⅴ～Ⅶ层外侧发出的第2级纤维，大部分经白质前连合，交叉到对侧，行于脊髓外侧索的前外侧缘，组成脊髓小脑前束；小部分不交叉，在同侧的外侧索内上升，与来自对侧的脊髓小脑前束纤维同行；经小脑上脚止于旧小脑皮质。

脊髓小脑后束和脊髓小脑前束主要传导躯干下部和下肢的本体感觉。

3. 楔小脑束（cuneocerebellar tract） 第1级神经元胞体位于脊神经节内，周围突分布于躯干上部、上肢和颈部，中枢突经颈神经后根进入脊髓后，在楔束内上行，至延髓后外侧部，止于楔外侧核，此核位于楔束核外侧，发出的第2级纤维组成同侧的楔小脑束，经小脑下脚进入旧小脑皮质。

两侧脊髓小脑束损伤，可引起肌张力减退、运动失调。

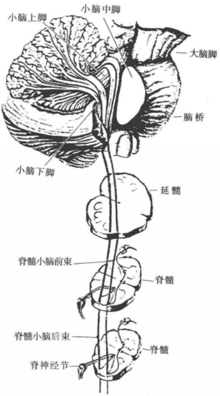


图6－2 躯干和四肢非意识性本体感觉传导通路

二、痛、温、粗触觉和压觉传导通路

痛、温、粗触觉和压觉传导通路又称浅感觉传导通路。分为躯干和四肢痛觉、温度觉、粗触觉和压觉传导通路及头面部的痛觉、温度觉、触觉和压觉传导通路。这些传导通路均由3级神经元组成（图6－3）。

（一）躯干和四肢痛觉、温度觉、粗触觉和压觉传导通路

第1级神经元：胞体位于脊神经节内，周围突分布于躯干、四肢皮肤和黏膜等处的感受器；中枢突经后根进入脊髓，在脊髓内上升1～2个节段，进入脊髓后角，止于脊髓后角（灰质板层的第Ⅰ、Ⅳ、Ⅴ和Ⅶ层）。一般认为，传导痛、温觉的纤维在后根的外侧部进入脊髓背外侧束，再终于第2级神经元；传导粗触觉、压觉的纤维经后根内侧部进入脊髓后索，再终止于第2级神经元。

第2级神经元：胞体位于后角（第Ⅰ、Ⅳ、Ⅴ和Ⅶ层），它们发出纤维经白质前连合到对侧，组成脊髓丘脑侧束和脊髓丘脑前束，分别在对侧的外侧索和前索上行，经延髓、脑桥、中脑止于背侧丘脑的腹后外侧核。脊髓丘脑侧束传导痛、温度觉。脊髓丘脑前束传导粗触觉、压觉。

第3级神经元：胞体位于背侧丘脑的腹后外侧核，它们发出纤维组成丘脑皮质束，经内

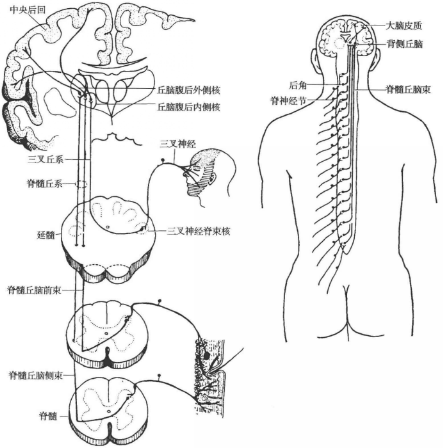


图 6-3　痛觉、温觉、粗触觉和压觉传导通路

囊后肢投射到中央后回中、上部和中央旁小叶后部。

（二）头面部痛觉、温度觉、触觉和压觉传导通路

头面部痛觉、温度觉、触觉和压觉传导通路也是由 3 级神经元组成。

第 1 级神经元：胞体位于三叉神经节内，属假单极神经元。其周围突随相应的脑神经分布于头面部皮肤和口、鼻腔黏膜等感受器，中枢突经三叉神经根入脑桥。传导痛温觉的纤维终于三叉神经脊束核；传导触、压觉的纤维终于三叉神经脑桥核和脊束核。

第 2 级神经元：胞体在三叉神经脊束核和三叉神经脑桥核内，它们发出纤维交叉到对侧，组成三叉丘系（trigeminal lemniscus），止于背侧丘脑腹后内侧核。

第 3 级神经元：胞体位于背侧丘脑腹后内侧核。它们发出的纤维组成丘脑皮质束，经内囊后肢，投射到中央后回下部。

在此通路中，若交叉以上受损，则导致对侧头面部痛温觉和触压觉障碍；若交叉以下受损，则同侧头面部痛温觉和触压觉发生障碍。

三、视觉传导通路和瞳孔对光反射通路

（一）视觉传导通路

眼球固定向前平视所能看到的空间范围，称视野。视野又可分为颞侧半视野和鼻侧半视野。当光线经角膜、房水、晶状体、玻璃体等一系列屈光系统的折射作用后，视野颞侧半的物像投射到同侧眼球视网膜的鼻侧，视野鼻侧半的物像投射到同侧眼球视网膜的颞侧。

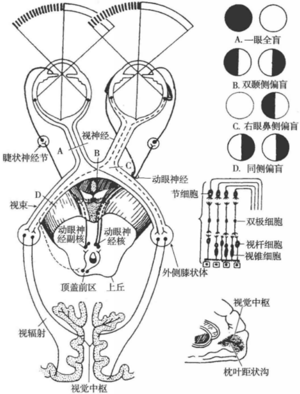


图 6－4　视觉传导路和瞳孔对光反射通路

视网膜内的视锥细胞和视杆细胞是光感受器，也称感光细胞。它们接受光波刺激后产生的神经冲动传至双极细胞，由双极细胞再传至神经节细胞。视网膜神经节细胞的轴突在视神经盘处集合成视神经。视神经经视神经管进入颅腔，形成视交叉（optic chiasma），经视束（optic tract），主要终止于外侧膝状体。

视神经纤维在视交叉处作不完全交叉，来自视网膜颞侧半的纤维不交叉，直接进入同侧

视束内；来自两眼视网膜鼻侧半的纤维交叉后加入对侧视束。因此，每侧视束包括来自同侧视网膜颞侧半的纤维和来自对侧视网膜鼻侧半的纤维。视束绕过大脑脚，主要终止于外侧膝状体。外侧膝状体核神经元发出的轴突组成视辐射（optic radiation），经内囊后肢投射到距状沟上、下皮质的视觉中枢（图 6-4）。

当视觉传导通路的不同部位损伤时，所引起的视野缺损不同：①一侧视神经损伤可致患眼视野全盲；②视交叉中间部的交叉纤维损伤，可致双眼视野颞侧半偏盲；③一侧视交叉外侧部的不交叉纤维损伤，则患侧视野的鼻侧半偏盲；④一侧视束及视束以后的任何部位（外侧膝状体、视辐射、视区皮质）损伤，可致双眼对侧半视野同向偏盲，若右侧视束损伤，则引起双眼左侧半偏盲，若左侧视束损伤，则引起双眼右侧半偏盲。例如：左侧视束损伤，出现右眼视野颞侧半和左眼视野鼻侧半偏盲。

（二）瞳孔对光反射通路

光线照射一侧瞳孔，引起两眼瞳孔缩小的反应称为瞳孔对光反射。光照射侧瞳孔缩小的反应称直接对光反射，另一侧未照射侧的瞳孔缩小反应，称间接对光反射。瞳孔对光反射是由视神经和动眼神经的副交感纤维共同完成的。

视网膜的神经节细胞轴突经视神经、视交叉至视束，再经上丘臂止于顶盖前区。由顶盖前区发出的纤维终止于两侧的动眼神经副核。由动眼神经副核发出的副交感节前纤维至睫状神经节交换神经元，其节后纤维分布至瞳孔括约肌和睫状肌，瞳孔括约肌收缩，两侧瞳孔缩小（图 6-4）。

此通路可简化如下：视网膜→视神经→视交叉→视束→上丘臂→顶盖前区→两侧动眼神经副核→动眼神经→睫状神经节→节后纤维→瞳孔括约肌。

瞳孔对光反射在临床上有重要意义，反射消失，可能预示病危。但视神经或动眼神经受损，也能引起瞳孔对光反射的改变。例如，当一侧视神经受损时，由于反射弧的传入神经途径中断，光照患侧瞳孔，两侧瞳孔均不反应；但光照健侧瞳孔，则两眼对光反射均存在，此时，患侧直接对光反射消失，间接对光反射存在。当一侧动眼神经受损时，由于反射弧的传出神经途径中断，无论光照哪一侧瞳孔，患侧对光反射均消失，此时，患侧直接及间接对光反射均消失，但健侧直接和间接对光反射均存在。

四、听觉传导通路

声波振动通过外耳道、鼓膜、听小骨，经前庭窗引起外淋巴振动，再经内淋巴至螺旋器产生听觉（图 6-5）。

听觉传导的第 1 级神经元：胞体位于蜗轴内的螺旋神经节内，为双极神经元，其周围突分布于内耳的螺旋器（Corti 器）；中枢突组成蜗神经，与前庭神经一起经内耳道、内耳门，在延髓和脑桥交界处入脑，止于蜗神经核。

第 2 级神经元：胞体位于蜗神经核，由蜗神经核发出的 2 级纤维，大部分横越中线，在脑桥背、腹部之间交叉，穿过内侧丘系形成斜方体（trapezoid body），再折向上形成外侧丘系；蜗神经核发出的小部分纤维不交叉，进入同侧的外侧丘系。外侧丘系大部分纤维或其侧支主要止于同侧下丘核，部分纤维经下丘连合终于对侧下丘核。

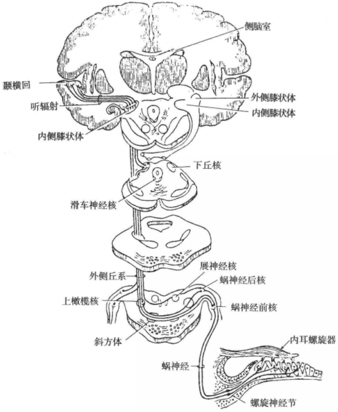


图 6－5　听觉传导通路

第 3 级神经元：胞体位于下丘核，下丘核作为听觉上行通路的中继站，其传出纤维大部分经下丘臂至内侧膝状体。

第 4 级神经元：胞体位于内侧膝状体，内侧膝状体发出的纤维形成听辐射，经内囊后肢的后部，投射到颞横回的听区。

由蜗神经核传至听区皮质的传导路径较为复杂，在蜗神经核的纤维到达内侧膝状体之前，沿途还发出纤维止于听觉通路的一些中继核团，如斜方体核、上橄榄核、外侧丘系核、下丘核等，经多次中继、反复交叉后方到达内侧膝状体。这些中继核团发出的纤维也参与组成外侧丘系。

另外，外侧丘系的部分纤维终止于下丘核，下丘核发出的纤维除至内侧膝状体外，还发纤维终止于对侧下丘和上丘，经顶盖延髓束、顶脊髓束、内侧纵束完成听觉刺激引起的闭眼、转头等反射。

由于每侧外侧丘系都含有来自双耳的听觉纤维，故一侧外侧丘系及以上通路损伤，不产生明显的听觉障碍。但一侧的中耳、内耳、蜗神经或蜗神经核受损，则引起患侧听觉障碍。

五、平衡觉传导通路

平衡觉传导通路传导内耳前庭器在身体特别是头部位置变化时所感受的刺激，与深感觉、视觉共同参与身体平衡反射的调节。

第1级神经元：胞体位于内耳道底的前庭神经节内，为双极细胞，其周围突分布于内耳半规管的壶腹嵴、前庭内的椭圆囊斑和球囊斑；中枢突组成前庭神经，与蜗神经一道经内耳道、内耳门入颅，在延髓和脑桥交界处入脑，大部分纤维止于前庭神经核群，小部分纤维经小脑下脚，止于同侧的小脑绒球小结叶、蚓垂和顶核等结构，称为前庭神经小脑纤维。

第2级神经元：胞体位于前庭神经核群，由前庭神经核发出的二级纤维至中线两侧组成内侧纵束，其中，上升纤维止于眼外肌运动核；下降纤维止于颈肌的运动核，调节眼球运动和头颈转动的反射活动；前庭神经外侧核发出二级纤维也构成前庭脊髓束，完成躯干、四肢的姿势反射（图6-6）。此外，前庭神经核群还发出纤维达脑干网状结构和迷走神经背核及疑核等，构成前庭与内脏联系的反射通路，故当平衡觉传导通路或前庭器受刺激时，可引起眩晕、呕吐、恶心等症状。前庭神经核群发出纤维与前庭神经直接发出的纤维，均可经小脑下脚（绳状体）进入小脑，参与平衡调节。

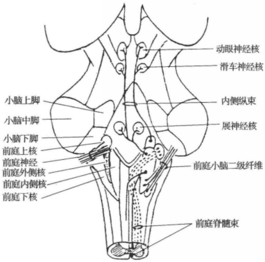


图6-6 平衡觉传导通路

由第2级神经元至大脑皮质的传导路径尚无定论，一般认为前庭神经核群发出的上行纤维经背侧丘脑腹后核或丘脑枕到达大脑皮质的代表区在顶叶内，也有人认为前庭器联系的皮质中枢在颞上回。

第二节　运动传导通路

运动传导通路也称下行传导路，包括躯体运动传导通路和内脏运动传导通路。

一、躯体运动传导通路

躯体运动传导通路是中枢对骨骼肌运动进行调节和控制的传导通路，包括锥体系和锥体外系。锥体系直接或间接作用于下运动神经元执行随意运动。锥体外系是指锥体系以外调节随意运动的传导通路。锥体系和锥体外系互相配合，相互协调，共同控制骨骼肌的随意运动。

（一）锥体系

锥体系（pyramidal system）管理骨骼肌随意运动，分为皮质脊髓束和皮质核束（皮质脑干束），分别管理躯干、四肢和头面部骨骼肌的随意运动，从大脑运动皮质到骨骼肌效应器的运动冲动的传递，由上、下两级神经元组成。上运动神经元（upper motor neurons）是位于中央前回和中央旁小叶前部的巨型锥体细胞（Betz 细胞），其轴突下行组成锥体束（pyramidal tract）。锥体束纤维下行至脊髓直接或间接止于脊髓前角运动细胞或脑干脑神经运动核。其中，下行至脊髓的纤维束称皮质脊髓束，止于脑干脑神经运动核的纤维束称皮质核束。脊髓前角细胞和脑神经运动核的细胞称下运动神经元（lower motor neurons）。

1. 皮质脊髓束　管理躯干、四肢骨骼肌的随意运动。主要起于中央前回上、中部和中央旁小叶前部的锥体细胞，先经内囊后肢，再经大脑脚底中部、脑桥基底部，至延髓上部，形成隆起的锥体。在锥体下端，约 3/4 的纤维交叉至对侧，形成锥体交叉（pyramidal decussation）。交叉后的纤维在对侧脊髓侧索内下行，形成皮质脊髓侧束；未交叉的纤维在同侧脊髓前索内下行，形成皮质脊髓前束（图 6－7）。

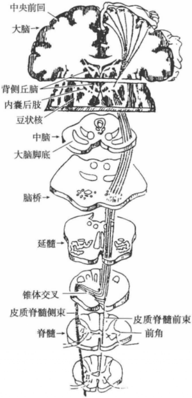


图 6－7　皮质脊髓束

皮质脊髓侧束在脊髓外侧索下行，逐节直接或间接止于各节段的前角运动细胞。皮质脊髓前束在前索，在前正中裂两侧下行，逐节交叉至对侧直接或间接终止于各节段的前角运动细胞。皮质脊髓侧束存在于脊髓全长，皮质脊髓前束只达颈髓和胸髓中部，支配颈肌和上肢肌。皮质脊髓前束中有一部分纤维始终不交叉，而止于同侧脊髓前角细胞，主要支配躯干肌。所

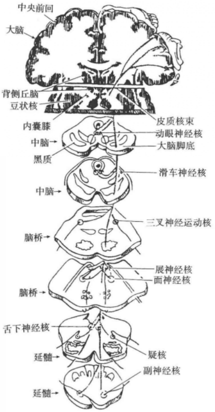


图6-8 皮质核束

以，躯干肌受双侧大脑皮质支配，一侧皮质脊髓束在锥体交叉前受损，主要引起对侧肢体瘫痪，躯干肌运动不受明显影响；若在锥体交叉后受损，主要引起同侧肢体瘫痪。

2. 皮质核束（corticonuclear tract） 又称皮质脑干束（图6-8、9），管理头面部骨骼肌的随意运动。主要起于中央前回下部的锥体细胞，经内囊膝部下降至脑干，陆续分出纤维直接或间接止于脑神经运动核。皮质核束大部纤维终止于双侧的脑神经运动核，分别到达双侧的动眼神经核、滑车神经核、三叉神经运动核、展神经核、面神经核上部、副神经核，支配眼外肌、咀嚼肌、咽喉肌和面上部表情肌。小部分纤维完全交叉到对侧，终止于面神经核下部和舌下神经核，支配面下部表情肌和舌肌。因此，除面神经核下部和舌下神经核受单侧（对侧）皮质核束支配外，其他脑神经运动核均受双侧皮质核束的支配。一侧皮质核束受损时，只有对侧下部面肌和对侧舌肌瘫痪，而眼外肌、咀嚼肌、咽喉肌和面上部表情肌等均不受影响。

锥体系任何部位受损都可引起其支配区的随意运动障碍，出现瘫痪，但上运动神经元和下运动神经元损伤所表现的体征不同（表6-7）。

上运动神经元损伤：指脊髓前角细胞和脑神经运动核以上的锥体系损伤，如大脑皮质躯体运动中枢或锥体束损伤。当皮质脊髓束损伤时，表现为随意运动障碍，肌张力增高，病理反射阳性，腱反射亢进，瘫痪的肌肉呈痉挛状态，所以称中枢性瘫痪或痉挛性瘫痪，也称硬瘫。主要是由于下运动神经元失去了上运动神经元对其的抑制作用，下运动神经元的活动增强所致。当一侧皮质核束受损时，可产生对侧眼裂以下的面肌和对侧舌肌瘫痪，表现为病灶对侧鼻唇沟消失，口角低垂并向病灶侧偏斜，流涎，不能作鼓腮、露齿等动作，伸舌时舌尖偏向病灶对侧，临床上又称为核上瘫。核上瘫早期，因仍有下运动神经元活动对肌肉的作用，肌萎缩不明显，肌张力增高不明显。

下运动神经元损伤：指脊髓前角运动细胞和脑神经运动核或其以下的运动传导路径损伤。因运动冲动传递的最后公路中断，肌肉失去神经直接支配，表现为瘫痪的肢体肌张力降低，浅、深反射都消失，肌萎缩，病理反射阴性，临床上称此为周围性瘫痪或弛缓性瘫痪，也称软瘫。一侧面神经核或面神经受损时，可致病灶侧所有面肌瘫痪，表现为额纹消失，眼睑不能闭合，口角下垂，鼻唇沟消失等；一侧舌下神经核或舌下神经受损时，可致病灶侧全部舌肌瘫痪，表现为伸舌时舌尖偏向病灶侧，临床上又称此为核下瘫（图6-10）。

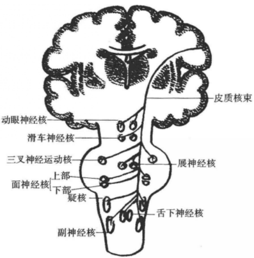


图6-9　皮质核束与脑神经运动核联系示意图

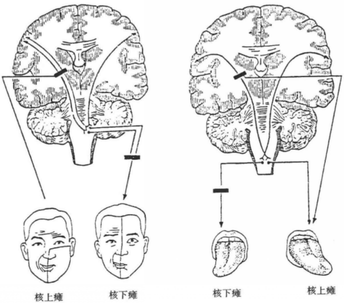


图6-10　面肌与舌肌瘫痪

表6-1　　上、下运动神经元损伤后的临床表现比较

症状与体征	上运动神经元损伤	下运动神经元损伤
肌张力	增高	降低
腱反射	亢进	消失或减弱
病理反射	出现（阳性）	不出现（阴性）
肌萎缩	不明显	明显
瘫痪	痉挛性（硬瘫）	弛缓性（软瘫）

（二）锥体外系

锥体外系（extrapyramidal system）是指锥体系以外所有影响和控制躯体运动的相关结构和传导径路，结构十分复杂，为多级神经元的链锁，包括大脑皮质及皮质下基底神经核、红核、黑质、小脑、网状结构等众多结构。在种系发生上锥体外系出现较早，在鱼类已出现，在鸟类和低等哺乳动物已成为控制运动的最高中枢。在人类由于锥体系的出现，锥体外系则处于从属和辅助的地位。锥体外系的主要功能是调节肌张力，协调肌肉运动，维持体态姿势，完成习惯性和节律性动作。锥体系和锥体外系互相依赖，互相协作，是不可分割的一个整体。锥体系主要是发动随意运动，锥体外系协调锥体系完成随意运动，如维持适宜的肌张力、肢体的稳定等，以保证锥体系准确地完成随意运动，特别是精细动作（如写字、绣花等）。锥体系是运动的发起者，有些习惯动作开始是锥体系发起的，然后由锥体外系维持和管理，如骑车、游泳等。

现已发现，锥体外系不是单向下行的神经元链，而大部分是相互联系的环路。锥体外系的主要环路有：

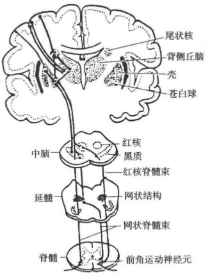


图6-11　皮质-新纹状体-背侧丘脑-皮质环路

1. 皮质-新纹状体-背侧丘脑-皮质环路　起于大脑皮质（主要躯体运动区和躯体感觉区），经内囊止于新纹状体，从新纹状体发出的纤维主要终止于苍白球。从苍白球再发出的纤维终止于背侧丘脑的腹前核、腹外侧核等，从丘脑腹前核和腹外侧核发出的纤维又返回到躯体运动区。该环路对发出锥体束的皮质运动区的活动有重要的反馈调节作用，对运动区皮质有抑制作用用（图6-11）。

大脑皮质（全部新皮质）$\xrightarrow{\text{皮质纹体纤维}}$新纹状体$\xrightarrow{\text{纹状苍白球纤维}}$苍白球$\xrightarrow{\text{苍白球丘脑纤维}}$背侧丘脑的腹前核和腹外侧核$\xrightarrow{\text{内囊}}$大脑皮质（4区、6区）

2. 新纹状体-黑质环路　自尾状核和壳发出纤维，止于黑质，再由黑质发出纤维返回尾状核和壳。

$$\text{纹状体（尾状核和壳）} \underset{\text{黑质纹状体纤维}}{\overset{\text{纹状体黑质纤维}}{\rightleftarrows}} \text{黑　质}$$

纹状体黑质纤维是γ－氨基丁酸（GABA）能纤维，黑质致密部的神经细胞能产生和释放多巴胺（DA），因此黑质纹状体纤维为多巴胺能纤维。当黑质或苍白球病变时，则纹状体内的多巴胺含量亦降低，γ－氨基丁酸占优势，出现肌张力增高、运动过少、动作弛缓、表情淡漠、静止性震颤等，临床上称 Parkinson 病（震颤麻痹）。尾状核和壳病变时，由于纹状体内多巴胺占优势，出现肌张力降低、运动过多、伴有挤眉弄眼等动作，临床上称为舞蹈症。

3. 皮质－脑桥－小脑－皮质环路　或称皮质－脑桥－小脑－红核－脊髓系，起自大脑皮质额、顶、枕、颞叶，经内囊、大脑脚底，入脑桥，止于同侧的脑桥核。由脑桥核发出的纤维越过中线至对侧，经小脑中脚进入小脑，主要止于小脑后叶新皮质。同时，小脑还接受脊髓小脑前束、脊髓小脑后束、楔小脑束、前庭小脑束、橄榄小脑束等传入的肌、腱、关节及前庭器官的感觉冲动。由小脑皮质发出的纤维，先至齿状核，齿状核再发出纤维经小脑上脚至对侧红核交换神经元，红核发出的纤维组成红核脊髓束，交叉后至脊髓前角细胞。另外，有的纤维在红核不交换神经元，直接至丘脑，然后与苍白球－纹状体系联系（图6－12）。

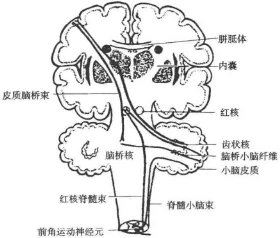


图6－12　皮质－脑桥－小脑－皮质环路

皮质－脑桥－小脑－皮质环路是锥体外系的一条重要环路，在人类最为发达。如此，小脑通过来自身体各部位肌、腱、关节的位置觉和运动觉冲动，以及来自前庭器官的平衡觉冲动，对大脑皮质发出的冲动进行调节和修正，使随意运动共济协调、精细准确。此环路的任何一个环节发生病变，均可出现共济失调。病人出现走路时步态蹒跚，为保持平衡，两脚叉开，两臂微抬；站立时，摇晃不稳甚至倾斜摔倒。

二、内脏运动传导通路

内脏运动传导通路包括一般内脏运动传导通路和特殊内脏运动传导通路。

（一）一般内脏运动传导通路

由于内脏运动传导通路比较弥散、混杂而多突触。因此，其传导通路还不十分清楚。通常认为一般内脏运动传导通路包括内脏运动皮质中枢、皮质下中枢、低级中枢以及它们之间的纤维联系。

内脏运动皮质区分布比较广泛，可以包括锥体外系的8区，锥体系的4区，边缘系统的边缘叶、岛叶、眶回、海马等处。内脏运动皮质下中枢在下丘脑，下丘脑可以与皮质中枢以及脑干和脊髓的低级中枢相联系。

通常认为一般内脏运动传导通路是通过：①额叶皮质经室周系下至下丘脑；②边缘系皮质的下行纤维由隔核中继，经前脑内侧束至下丘脑；③锥体外系经苍白球－下丘脑纤维至下丘脑这3条通路。从下丘脑发出的纤维经前脑内侧束、乳头被盖束、室周系和背侧纵束至脑干内脏运动核和脑干网状结构。脑干网状结构再通过网状脊髓束至脊髓的内脏运动神经核。其中乳头被盖束、室周系和背侧纵束直接、间接以其终支或侧支止于脑干的内脏运动核。近来证实，下丘脑特别是室旁核、背内侧核的外侧部等可直接发出纤维投射至迷走神经背核、脊髓中间外侧核、孤束核，此投射以同侧为主。另外，下丘脑与皮质，特别是边缘系统及脑干内的某些结构之间还存在着环路。

一般内脏运动传导通路发生病变，则导致自主神经障碍。如在中枢，下丘脑病变可出现体温调节、水盐代谢及内分泌活动障碍。在脑干病变涉及动眼神经副核，出现瞳孔对光反射和调节反射障碍；涉及延髓的生命中枢，会影响心跳、呼吸、血压调节等，有时会危及生命。在脊髓如病变累及自主神经的低级中枢及自主神经中枢的下行纤维，会出现排尿、排便障碍等。

（二）特殊内脏运动传导通路

特殊内脏指起源于鳃弓的咀嚼肌、面肌、咽喉肌等头颈部肌，支配它们的运动传导通路属皮质核束的一部分，已在锥体束中详述，见本节。

第七章　内脏神经系统

内脏神经系统（visceral nervous system），是指调节和控制内脏、心血管和腺体的神经系。由于内脏活动通常不直接受人的意志控制，又称自主神经系（autonomic nervous system），又因它主要是控制和调节动、植物共有的物质代谢活动，所以也称之为植物神经系（vegetative nervous system）。内脏神经系统是整个神经系统的一部分。内脏神经系统按所在部位不同，分为中枢部和周围部。中枢部位于脑和脊髓内，周围部分布于内脏、心血管和腺体。按功能分，内脏神经又分为内脏运动神经和内脏感觉神经（图7－1）。内脏运动神经支配平滑肌、心肌的运动和腺体的分泌。内脏感觉神经将来自内脏、心血管等处的感觉冲动传入各级中枢，经中枢整合后，通过内脏运动神经调节这些器官的活动，从而在维持机体内、外环境的动态平衡和正常生命活动中发挥重要作用。

第一节　内脏运动神经

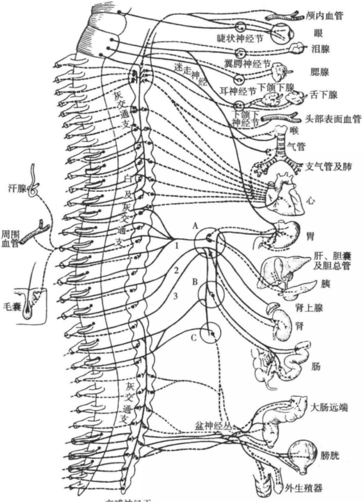
一、概述

内脏运动神经（visceral motor nerve）和躯体运动神经一样，都受大脑皮质和皮质下各级中枢的控制和调节。两者在机能上互相依存、互相协调，但在形态结构和分布范围等方面存在较大差异，现将其主要差异归纳如下：

①支配的器官不同：躯体运动神经支配骨骼肌；内脏运动神经支配平滑肌、心肌和腺体。

②纤维成分不同：躯体运动神经只有一种纤维成分，而内脏运动神经则分为交感和副交感两种纤维成分。

③支配方式不同：躯体运动神经自脑干或脊髓的低级中枢发出后直达骨骼肌，中途不交换神经元，而内脏运动神经自脑干或脊髓的低级中枢发出后，都要在周围部的内脏神经节交换神经元，再由内脏神经节内的神经元发出纤维到达效应器。因此，内脏运动神经从低级中枢到达所支配的器官需经过两级神经元。位于脑干和脊髓低级中枢的第一个神经元称节前神经元（preganglionic neuron），其轴突称节前纤维（preganglionic fiber）；位于内脏神经节内的第二个神经元称节后神经元（postganglionic neuron），其轴突称节后纤维（postganglionic fiber）。



注：A. 腹腔神经节　B. 肠系膜上神经节　C. 肠系膜下神经节
1. 内脏大神经　2. 内脏小神经　3. 内脏最小神经

图 7－1　内脏神经系

④功能不同：躯体运动神经对效应器的支配，一般直接受意志控制；而内脏运动神经对效应器的支配，在一定程度不直接受意志控制。

⑤分布形式不同：躯体运动神经以神经干的形式分布，而内脏运动神经的节后纤维则常攀附于脏器或血管的表面形成神经丛，由丛再发出分支至所支配的器官。

⑥纤维粗细不同：躯体运动神经纤维一般是比较粗的有髓纤维，而内脏运动神经纤维则

是薄髓（节前纤维）和无髓（节后纤维）的细纤维。

内脏运动神经根据形态、机能和药理作用等特点又分为交感神经和副交感神经两部分，它们都有中枢部和周围部。

二、交感神经

（一）中枢部

交感神经（sympathetic nerve）的低级中枢位于脊髓第1胸～第3腰节段（T_1～L_3）的侧角内，其节前纤维即侧角细胞发出的轴突。根据交感神经低级中枢的所在部位，常将交感神经称为“内脏神经胸腰部”。

（二）周围部

包括交感神经节以及由节发出的分支和交感神经丛等。

1. 交感神经节　为交感神经节后神经元胞体所在处。按其所在位置不同，可分为椎旁神经节和椎前神经节（图7－2）。

（1）*椎旁神经节*（paravertebral ganglia）　位于脊柱两旁，上起自颅底，下至尾骨前方，一般有20～23对和尾部1个单节。神经节之间借节间支相连，分别连成左、右交感干（sympathetic trunk），所以椎旁神经节又称交感干神经节（ganglia of sympathetic trunk）。

颈部交感干神经节一般有3对，分别称为颈上神经节（superior cervical ganglion）、颈中神经节（middle cervical ganglion）和颈下神经节（inferior cervical ganglion）。胸部有10～12对，第1胸交感干神经节常与颈下神经节结合，称颈胸神经节（cervicothoracic ganglion）（又称星状神经节）。腰部有4～5对，骶部有2～3对，尾部

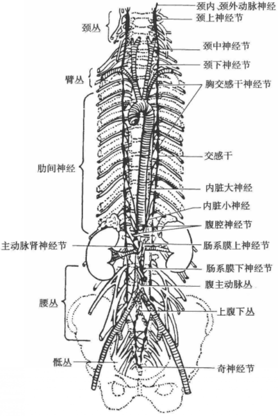


图7－2　交感干全貌

为 1 个单节（又称奇神经节）。

(2) 交通支（communicating branch） 交感干神经节借交通支与相应的脊神经相连。交通支分为白交通支和灰交通支（图 7 -3）。白交通支是脊髓侧角细胞发出的节前纤维离开脊神经进入交感干神经节的通路，只见于全部胸神经和上 3 对腰神经与交感干神经节之间，因纤维有髓鞘，呈白色，故称白交通支。灰交通支是交感干神经节发出的节后纤维进入脊神经的通路，存在于全部交感干神经节与全部脊神经之间，因纤维无髓鞘，呈灰色，故称灰交通支。

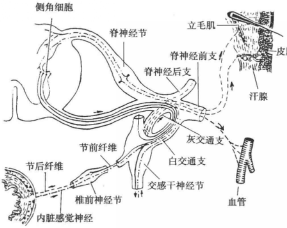


图 7 -3 交感神经纤维走行模式图

(3) 椎前神经节（prevertebral ganglia） 位于脊柱前方，腹主动脉脏支根部。主要有腹腔神经节、主动脉肾神经节、肠系膜上神经节和肠系膜下神经节等。

1）腹腔神经节（celiac ganglia）1 对，位于腹腔动脉根部两旁。

2）主动脉肾神经节（aorticorenal ganglia）1 对，位于肾动脉根部。

3）肠系膜上神经节（superior mesenteric ganglion）1 个，位于肠系膜上动脉的根部

4）肠系膜下神经节（inferior mesenteric ganglion）1 个，位于肠系膜下动脉的根部。

2. 交感神经节前纤维和节后纤维的去向

(1) 交感神经节前纤维的去向 自脊髓侧角发出，经脊神经前根、脊神经、白交通支进入交感干后有三种去向（图 7 -3）。

1）终止于相应的交感干神经节，并交换神经元。

2）在交感干内上升或下降，然后终止于上方或下方交感干神经节，并交换神经元。一般认为来自脊髓上胸段侧角的节前纤维，在交感干内上升至颈部，在颈部交感干神经节换元；自胸段者在交感干内上升或下降，至其他胸部交感干神经节换元；下胸段和腰段者在交感干内下降，在腰骶部交感干神经节换元。

3）穿过交感干神经节后，至椎前神经节换元。

(2) 交感神经节后纤维的去向 由交感神经节发出的节后纤维也有三种去向。

1）由交感干神经节发出的节后纤维经灰交通支返回脊神经，随脊神经分布至头颈部、躯干部和四肢的血管、汗腺和立毛肌等。31 对脊神经与交感干神经节之间都有灰交通支联系，故脊神经分支内一般都含有交感神经的节后纤维。

2）攀附于动脉形成神经丛，并随动脉及其分支到达所支配的器官。

3）由交感神经节直接发出的分支分布到所支配的器官。

自椎前神经节发出的节后纤维主要是形成神经丛攀附动脉分布到腹、盆腔器官。

3. 交感神经的分布（图 7－1、4）

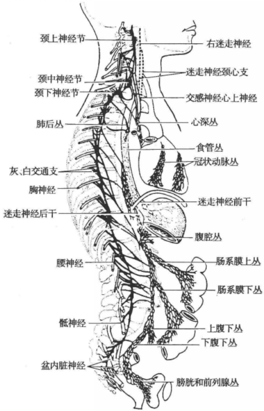


图 7－4　交感干和内脏神经丛

（1）自脊髓第 1 胸～第 3 腰节段侧角的一部分细胞发出节前纤维，经相应的脊神经前根、脊神经和白交通支进入交感干，部分终止于相应的交感干神经节并交换神经元，部分在交感干内上升到颈部交感干神经节交换神经元，部分在交感干内下降至下腰部和骶尾部的交感干神经节交换神经元。因此，交感神经的节前纤维虽发自脊髓 $T_1 \sim L_3$ 节段，但可至交感

干全部神经节交换神经元。由交感干全部神经节发出的节后纤维分别经灰交通支又返回到31对脊神经，成为脊神经的纤维成分，随脊神经分布到头颈部、躯干部和四肢的血管、汗腺和立毛肌。

（2）自脊髓第1～第2胸节段侧角的一部分细胞发出节前纤维，经相应的脊神经前根、脊神经和白交通支到达相应胸交感干神经节，不在此交换神经元，而在交感干内上升到颈上神经节交换神经元，由颈上神经节发出节后纤维攀附在颈内、外动脉周围形成颈内动脉丛和颈外动脉丛，并伴动脉的分支走行，分布到头面部的平滑肌和腺体，如瞳孔开大肌、泪腺、唾液腺以及血管等。

颈交感干受损，可出现Horner综合征，表现为患侧瞳孔缩小、睑裂变小、面部潮红和无汗等。

（3）自脊髓第1～第4或第5胸节段侧角的一部分细胞发出节前纤维，经相应的脊神经前根、脊神经和白交通支到达相应的上位胸交感干神经节。在此，一部分纤维交换神经元，发出节后纤维组成胸心神经（thoracic cardiac nerves），加入心丛分布到心脏；一部分纤维在交感干内上升到颈上、中、下神经节交换神经元。由这三个节发出的节后纤维，分别组成颈上心神经（superior cervical cardiac nerve）、颈中心神经（middle cervical cardiac nerve）和颈下心神经（inferior cervical cardiac nerve），下行进入心丛，分布到心肌和心血管。

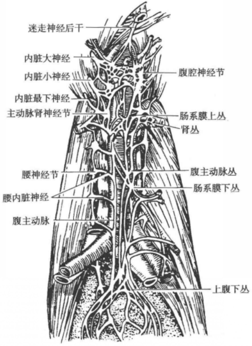


图7－5　腰部及腹部交感神经丛

（4）自脊髓第2～第6胸节段侧角的一部分细胞发出节前纤维，经相应的脊神经前根、脊神经和白交通支到达交感干，在颈胸神经节及上胸神经节交换神经元，自这些节发出节后纤维至肺门加入肺丛，由丛分支入肺内分布到支气管树（平滑肌和腺体）以及肺内血管（平滑肌）等。

（5）自脊髓第5～第12胸节段侧角的一部分细胞发出节前纤维，经相应的脊神经前根、脊神经和白交通支到达相应的胸交感干神经节，在此不交换神经元而是穿越交感干神经节后组成内脏大神经和内脏小神经。内脏大神经和内脏小神经沿椎体表面下降，穿膈至腹腔。内脏大神经（greater splanchnic nerve）主要到腹腔神经节交换神经元。内脏小神经（lesser splanchnic nerve）主要到主动脉肾神经节交换神经元，也有纤维终止于肠系膜上神经节。由腹腔神经节、主动脉肾神经节等发出的节后纤维加入腹腔丛（celiac plexus），并延续于腹主动脉丛。缠

绕腹腔干、肠系膜上动脉和肾动脉的分支分布到肝、胆囊、胰、脾、肾、肾上腺以及腹腔结肠左曲以上的消化管（图7－5）。

（6）自脊髓第1～第3腰（或第11胸～第3腰）节段侧角的一部分细胞发出节前纤维，经相应的脊神经前根、脊神经和白交通支到腰交感干神经节，穿越此节组成腰内脏神经（lumbar splanchnic nerves）并加入腹主动脉丛，由此丛分出肠系膜下丛，后者一部分纤维在肠系膜下神经节交换神经元，节后纤维随肠系膜下动脉的分支分布至降结肠、乙状结肠和直肠上部；另一部分纤维下延参与组成上腹下丛（图7－5）。

综上所述，交感神经的分布大致如下：自脊髓第1～5胸节段侧角细胞发出的节前纤维交换神经元后，其节后纤维支配头、颈、胸腔脏器和上肢的血管、汗腺及立毛肌；自脊髓第5～12胸节段侧角细胞发出的节前纤维交换神经元后，其节后纤维支配肝、脾、肾等实质性器官和腹腔内结肠左曲以上的消化管；自脊髓上腰节段侧角细胞发出的节前纤维交换神经元后，其节后纤维支配结肠左曲以下的消化管、盆腔脏器和下肢的血管、汗腺及立毛肌。

三、副交感神经

（一）中枢部

副交感神经（parasympathetic nerve）的低级中枢位于脑干内的副交感神经核和脊髓第2～第4骶节段的副交感神经核，由这些核发出副交感神经的节前纤维。根据副交感神经低级中枢的位置，常将副交感神经称为“内脏神经脑骶部”。

（二）周围部

包括副交感神经节及进出于节的节前纤维和节后纤维。根据副交感神经节的位置不同，可分为器官旁节和器官内节，前者位于器官近旁，后者位于器官壁内。

1. 脑部副交感神经　其节前纤维行于动眼神经、面神经、舌咽神经和迷走神经内。

（1）随动眼神经走行的副交感神经节前纤维，起自中脑内的动眼神经副核，进入眶腔后，在视神经外侧的睫状神经节内交换神经元，其节后纤维穿入眼球壁，分布于瞳孔括约肌和睫状肌。

（2）随面神经走行的副交感神经节前纤维，起自脑桥内的上泌涎核，一部分经岩大神经至翼腭神经节交换神经元，其节后纤维分布于泪腺和鼻腔黏膜腺；另一部分纤维经鼓索加入舌神经，再到下颌下神经节交换神经元，其节后纤维分布于下颌下腺和舌下腺。

（3）随舌咽神经走行的副交感神经节前纤维，起自延髓内的下泌涎核，至卵圆孔下方的耳神经节交换神经元，其节后纤维分布到腮腺。

（4）随迷走神经走行的副交感神经节前纤维，起自延髓内的迷走神经背核，随迷走神经分支到胸、腹腔器官旁节或器官内节交换神经元，其节后纤维随即分布于胸、腹腔脏器（结肠左曲以下的消化管除外）。

2. 骶部副交感神经　其节前纤维由脊髓第2～4骶节段副交感神经核发出，随骶神经前根、前支出骶前孔至盆腔，然后离开骶神经前支，组成盆内脏神经（pelvic splanchnic nerves）参加盆丛，随盆丛分支到降结肠、乙状结肠和盆腔脏器，在器官旁节或器官内节交

换神经元，节后纤维支配这些器官的平滑肌和腺体（图7-6）。

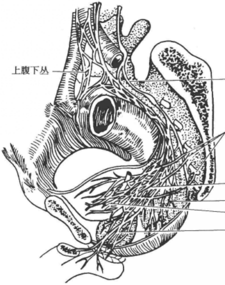


图7-6　盆内脏神经

四、交感神经与副交感神经的主要区别

1. 低级中枢的部位不同　交感神经低级中枢位于脊髓第1～第3腰节段侧角；副交感神经低级中枢则位于脑干内的副交感神经核和脊髓第2～4骶节段的副交感神经核。

2. 周围神经节的位置不同　交感神经节位于脊柱的两旁（椎旁神经节）和脊柱的前方（椎前神经节）。副交感神经节位于所支配的器官近旁（器官旁节）和器官壁内（器官内节）。因此，副交感神经节前纤维比交感神经节前纤维长，而节后纤维则较短。

3. 分布范围不同　交感神经在周围的分布范围较广，除至头颈部、胸腹腔脏器外，还遍及全身的血管、腺体、立毛肌等。副交感神经的分布不如交感神经广泛。一般认为大部分血管、汗腺、立毛肌和肾上腺髓质均无副交感神经支配。

4. 节前神经元与节后神经元的比例不同　一个交感节前神经元的轴突可与许多节后神经元组成突触；而一个副交感节前神经元的轴突则与较少的节后神经元组成突触。所以，交感神经的作用较广泛，而副交感神经的作用较局限。

5. 对同一器官所起的作用不同　交感神经与副交感神经对同一器官的作用是互相拮抗又互相统一的。例如：当机体运动加强时，为适应机体代谢的需要，交感神经兴奋增强，而副交感神经兴奋减弱，出现心跳加快、血压升高、支气管扩张、瞳孔开大、消化活动受抑制等。而当机体处于安静或睡眠状态时，副交感神经兴奋加强，交感神经相对抑制，因而可出现心跳减慢、血压下降、支气管收缩、消化活动增强等与上述相反的现象，以有利于体力的恢复和能量的储存。

五、内脏神经丛

交感神经和副交感神经在到达所支配的脏器的过程中，常互相交织在一起，构成内脏神经丛（图7-4、5、6）。这些神经丛主要攀附于胸、腹和盆腔内动脉的周围，或分布于脏器附近和器官之内。在这些丛内也有内脏感觉纤维通过。现将几个主要的内脏神经丛介绍如下：

1. 心丛（cardiac plexus）　由两侧颈交感干神经节发出的颈上、中、下心神经，胸交感干神经节发出的胸心神经及迷走神经的心支共同组成，分为心浅丛和心深丛。心浅丛位于主动脉弓下方，心深丛位于气管杈的前面，两丛互相交织。心丛内有心神经节，来自迷走神经的副交感节前纤维在此交换神经元。心丛的分支又组成心房丛和左、右冠状动脉丛，随动脉分支分布于心肌。

2. 肺丛（pulmonary plexus）　位于肺根的前、后方，与心丛互相连续，丛内有小的神经节为迷走神经节后神经元。肺丛由迷走神经的支气管支和交感干的胸2～5节的分支组成，也有心丛的分支加入，其分支随支气管和肺血管的分支入肺。

3. 腹腔丛（celiac plexus）　位于腹腔动脉和肠系膜上动脉根部周围，是最大的内脏神经丛。丛内主要含有腹腔神经节、肠系膜上神经节和主动脉肾神经节等。此丛由来自两侧胸交感干的内脏大、小神经和迷走神经后干的腹腔支以及上腰部交感干神经节的分支共同组成。来自内脏大、小神经的交感节前纤维在丛内神经节交换神经元，来自迷走神经的副交感节前纤维则到所分布的器官附近或肠管壁内交换神经元。腹腔丛及丛内神经节发出的分支又分为许多副丛，如肝丛、胃丛、脾丛、肾丛以及肠系膜上丛等，分别沿同名血管分支到达各器官。

4. 腹主动脉丛（abdominal aortic plexus）　位于腹主动脉两侧及前面，在肠系膜上、下动脉起始处之间，是腹腔丛在腹主动脉表面向下的延续部分，并接受第1、2腰交感干神经节的分支。此丛分出肠系膜下丛，沿同名动脉分支分布于结肠左曲以下至直肠上段的消化管。此外，腹主动脉丛还发出纤维下行入盆腔，参加腹下丛的组成。

5. 腹下丛（hypogastric plexus）　可分为上腹下丛和下腹下丛。

上腹下丛（superior hypogastric plexus）位于第5腰椎前面、腹主动脉末端及两髂总动脉之间，是腹主动脉丛向下的延续部分，从两侧接受下位两个腰神经节发出的腰内脏神经，在肠系膜下神经节交换神经元。

下腹下丛（inferior hypogastric plexus）即盆丛（pelvic plexus）为上腹下丛延续到盆腔的部分，位于直肠两侧，并接受腰交感干的节后纤维和第2～4骶神经的副交感节前纤维。此丛伴随髂内动脉的分支组成直肠丛、精索丛、输尿管丛、膀胱丛、前列腺丛、子宫阴道丛等分布于盆腔各脏器。

第二节　内脏感觉神经

人体各内脏器官除有交感和副交感神经支配外，还有感觉神经分布。内脏感觉神经通过感受器接受来自内脏的刺激，将其转变为神经冲动，传至中枢。内脏感觉神经元的胞体亦位

于脊神经节和脑神经节内，而且也是假单极神经元。其周围突随交感神经和副交感神经（主要是迷走神经和盆内脏神经）分布；中枢突进入脊髓和脑干，分别止于脊髓后角和脑干内的孤束核。内脏感觉纤维一方面借中间神经元与内脏运动神经元联系，形成内脏－内脏反射，或与躯体运动神经元联系，形成内脏－躯体反射；另一方面经过较复杂的传导途径将冲动传至大脑皮质，产生多种内脏感觉。内脏感觉包括特殊内脏感觉和一般内脏感觉。特殊内脏感觉是指嗅觉和味觉，而一般内脏感觉是指嗅觉和味觉以外的全部心、血管、腺体和内脏的感觉。

一、内脏感觉神经与躯体感觉神经的主要区别

内脏感觉神经在形态结构上虽与躯体感觉神经大致相同，但仍有某些不同之处。

1. 痛阈较高 内脏感觉纤维数目较少，且多为细纤维，痛阈较高，一般强度的刺激不引起主观感觉。例如，在外科手术挤压、切割或者烧灼内脏时，病人并不感觉疼痛。但脏器活动较强烈时，则可产生内脏感觉，如胃的饥饿收缩、直肠和膀胱的充盈等均可引起感觉。此外，在病理条件下或极强烈刺激下，则可产生痛觉。例如，内脏器官过度膨胀受到牵张，平滑肌痉挛以及缺血和代谢产物集聚等，皆可刺激神经末梢产生内脏痛。

2. 疼痛弥散、定位不准 内脏感觉的传入途径比较分散，即一个脏器的感觉纤维经过多个节段的脊神经进入中枢，而一条脊神经又包含来自几个脏器的感觉纤维。因此，内脏痛往往是弥散的，定位不准确，比较模糊。例如，心脏的痛觉纤维伴随交感神经（主要是心中、心下神经）经第1～5胸神经进入脊髓。内脏痛觉纤维除和交感神经伴行外，尚有盆腔部分脏器的痛觉冲动通过盆内脏神经（副交感神经）到达脊髓。气管和食管的痛觉纤维可能经迷走神经传入脑干，经脊神经进入脊髓。

二、内脏感觉传导通路

内脏感觉传导路径复杂，迄今知之甚少。通过大量的实验研究，目前对内脏感觉传导通路已有一些初步了解，现简单介绍如下：

1. 一般内脏感觉传导通路 经脑神经节（膝神经节、舌咽神经和迷走神经的下神经节）传导的一般内脏感觉纤维入脑后止于孤束核。交换神经元后由孤束核发出纤维上行，可能经位于脑桥结合臂两侧的臂旁核至背侧丘脑腹后内侧核或下丘脑外侧区中继，然后再发纤维将感觉冲动传向大脑皮质岛叶。经脊神经节传导的一般内脏感觉纤维沿脊髓后角的内、外缘进入脊髓，止于位于中央管背外侧的后连合核，交换神经元后，由后连合核发出纤维经臂旁核中继，然后，再发纤维将感觉冲动传向大脑皮质。

2. 内脏痛觉的传导通路 一般认为有两条，一条是传导快痛的，另一条是传导慢痛的。传导快痛的第一级神经元的胞体位于脊神经节内，其周围突伴随交感神经或副交感神经分布于各内脏器官，其中枢突入脊髓，在后角灰质交换神经元。第二级神经元发出纤维在同侧和对侧与脊髓丘脑束伴行，上升至背侧丘脑腹后外侧核交换神经元。第三级神经元发出纤维经内囊后肢，到达大脑皮质中央后回和大脑外侧沟上部皮质。也有人认为此条通路也行经脊髓后索，并在薄束核和楔束核内交换神经元。传导慢痛的第一级神经元也是脊神经节细胞，其

中枢突进入脊髓后可能在固有束内上行，在脊髓和脑干网状结构内经过多次交换神经元，再经背侧丘脑的背内侧核交换神经元，而后上达大脑边缘叶皮质。

3. 特殊内脏感觉传导通路　传导嗅觉的第一级神经元为位于鼻腔黏膜内的嗅细胞（双极神经元），其树突分布于嗅黏膜，轴突形成嗅丝，穿筛骨筛板的筛孔入颅，止于嗅球。由嗅球发出二级纤维组成嗅束，向后延为嗅三角，再经外侧嗅纹，将嗅觉冲动传至颞叶海马旁回的钩及附近的皮质。

传导味觉的第一级神经元的胞体位于面神经膝神经节和舌咽神经的下神经节内，它们的周围突分布于舌的味蕾，中枢突止于孤束核上端，以后的路径与一般内脏感觉传导通路相似。

第三节　牵涉性痛

当某些内脏器官发生病变时，常在体表的一定区域产生感觉过敏或痛觉，这种现象称牵涉性痛。例如，心绞痛时，常在胸前区及左臂内侧皮肤感到疼痛（图 7－7）。肝胆疾患时，常在右肩部感到疼痛等。临床上将内脏患病时体表发生感觉过敏以及骨骼肌反射、血管舒缩、汗腺分泌异常等障碍的部位称为海德带（Head Zones）。了解海德带有助于内脏疾病的定位诊断。关于牵涉性痛的发生机制，目前尚未完全清楚。一般认为，发生牵涉性痛的体表

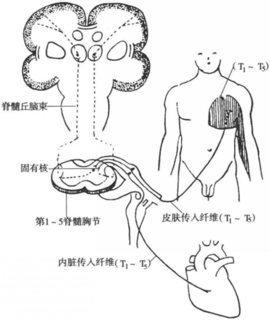


图 7－7　心传入神经与皮肤神经的相互关系

部位与病变器官往往受同一节段脊神经的支配，体表部位和病变器官的感觉神经进入同一脊髓节段，并在脊髓后角内密切联系。因此，从患病内脏传来的冲动可以扩散或影响邻近的躯体感觉神经元，从而产生牵涉性痛（图7－8）。近年来神经解剖学研究表明，一个脊神经节神经元的周围突分叉到躯体部和内脏器官，并认为这是牵涉性痛机制的形态学基础。

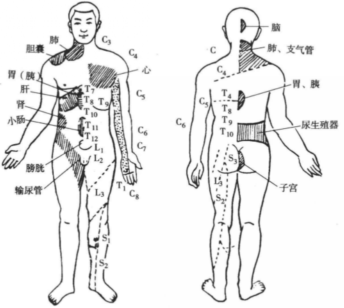


图7－8　内脏病时的牵涉痛区

附：一些重要器官的神经支配

掌握人体一些重要器官的神经支配，在临床对诊断和治疗具有一定的意义。下面附以脏器的神经支配简表，以供参考。

表 7－1　　内脏器官的神经支配

器官	神经	沿内脏神经的传入纤维路径	节前纤维		节后纤维		功能
			起源	路径	起源	路径	
眼球	交感		T_1～T_2 脊髓侧角	经白交通支→交感干内上升	颈上节、颈内动脉丛内神经节	经颈内动脉丛→眼神经、睫状节→眼球	瞳孔开大、血管收缩
	副交感		动眼神经副核	动眼神经→睫状节的短根或睫状长神经	睫状节	睫状短神经→瞳孔括约肌、睫状肌	瞳孔缩小、睫状肌收缩
心脏	交感	以颈中心、下心和胸心支→T_1～$T_{4(5)}$ 脊髓后角	T_2～$T_{5(6)}$ 脊髓侧角	经白交通支→交感干，在干内上升或不上升	颈上、中、下节和 T_1～T_5 脊神经	颈上、中、下支和胸心支→心丛→冠状丛→心房和心室	心跳加快，心室收缩力加强，冠状动脉扩张
	副交感	迷走神经→延髓孤束核	迷走神经背核	迷走神经→颈心上、中、下支，心支，胸心支→心丛冠状丛→心房	心神经节、心房壁内的神经节	到心房、心室	心跳减慢，心室收缩力减弱、冠状动脉收缩
支气管和肺	交感	来自胸膜脏层的传入纤维经交感神经肺支→T_2～T_5 脊髓后角	T_2～T_5 脊髓侧角	经白交通支→交感干，在干内上升或不上升	颈下节和第1～5胸交感节	肺支→肺前、后丛→肺	支气管扩张，抑制腺体分泌，血管收缩
	副交感	来自支气管和肺的传入纤维→迷走神经→延髓孤束核	迷走神经背核	迷走神经支气管支→肺丛→肺	肺丛内的神经节和支气管壁内的神经节	到支气管平滑肌和腺体	支气管收缩，促进腺体分泌
胃、小肠、升结肠和横结肠	交感	经腹腔丛→内脏大、小神经→T_6～T_{12} 脊髓后角	T_6～T_{12} 脊髓侧角	经白交通支→交感干→内脏大、小神经，腰内脏神经	腹腔节、主动脉肾节、肠系膜上节	沿各部分血管周围的神经丛分布	减少蠕动，减少张力，减少分泌，增加括约肌张力，血管收缩
	副交感	迷走神经→延髓孤束核	迷走神经背核	迷走神经→食管丛→胃丛→腹腔丛→肠系膜上丛→胃肠壁	肠肌间丛和黏膜下丛内的神经节	到平滑肌和腺体	促进肠蠕动，增加肠壁张力，增加分泌，减少括约肌张力

（续表）

器官	神经	沿内脏神经的传入纤维路径	节前纤维		节后纤维		功能
			起源	路径	起源	路径	
降结肠至直肠	交感	腰内脏神经和交感干骶部的分支→L_1～L_3脊髓后角	T_{12}～L_3脊髓侧角	经白交通支→交感干→腰内脏神经、骶内脏神经→腹主动脉丛→肠系膜下丛、腹下丛	腹系膜下丛和腹下丛内神经节，少量在腰交感节	随各部分血管周围的神经丛分布	抑制肠蠕动，肛门内括约肌收缩
	副交感	经肠系膜下丛，盆丛→盆内脏神经，到S_2～S_4脊髓后角	S_2～S_4脊髓骶副交感核	经第2～4骶神经→盆内脏神经→盆丛→降结肠、直肠	肠肌间丛和黏膜下丛内的神经节	到平滑肌和腺体	促进肠蠕动，肛门内括约肌松弛
肝、胆囊、胰腺	交感	经腹腔丛→内脏大、小神经→T_4～T_{10}脊髓后角	T_4～T_{10}脊髓侧角	经内脏大、小神经→腹腔丛	腹腔节、主动脉肾节	沿肝、胆囊和胰腺血管周围神经丛分布	抑制腺体分泌
	副交感	迷走神经→延髓孤束核	迷走神经背核	迷走神经→腹腔丛	器官内神经节		增强腺体分泌
肾	交感	经主动脉肾丛→内脏大、小神经→T_6～T_{12}脊髓后角	T_6～T_{12}脊髓侧角	经内脏大、小神经和腰内脏神经→腹腔丛、主动脉肾丛	腹腔节、主动脉肾节	沿肾血管周围神经丛分布	血管收缩
	副交感	迷走神经→延髓孤束核	迷走神经背核	迷走神经→腹腔丛、肾丛	主动脉肾节		血管舒张、肾盂收缩
输尿管	交感	T_{11}～L_2脊髓后角	T_{11}～L_2脊髓侧角	经内脏小神经、腰内脏神经→腹腔丛→肠系膜上下丛、肾丛	主动脉肾节、肠系膜下节	输尿管丛	抑制输尿管蠕动
	副交感	盆内脏神经→S_2～S_4脊髓后角	脊髓S_2～S_4副交感核	经盆内脏神经→输尿管丛	输尿管节		加强输尿管蠕动

（续表）

器官	神经	沿内脏神经的传入纤维路径	节前纤维		节后纤维		功能
			起源	路径	起源	路径	
膀胱	交感	盆从→腹下丛→腰内脏神经到达 L_1 ~ L_2 脊髓后角（传导来自膀胱的痛觉）	L_1 ~ L_2 脊髓侧角	经白交通支→交感干→腰内脏神经、腹主动脉丛、肠系膜下丛、腹下丛、盆丛	肠系膜下丛和腹下丛的神经节，少量在腰交感节	经膀胱丛到膀胱	血管收缩，膀胱三角肌收缩、尿道口关闭，对膀胱逼尿肌的作用很小或无作用
	副交感	盆丛→盆内脏神经，到达 S_2 ~ S_4 脊髓后角（传导膀胱的牵张感和膀胱颈的痛觉）	S_2 ~ S_4 脊髓的骶副交感核	经第2~4骶神经→盆内脏神经→盆丛→膀胱丛	膀胱丛和膀胱壁内的神经节	到膀胱平滑肌	逼尿肌收缩，内括约肌松弛
男性生殖器	交感	盆丛→交感干，到达 T_{11} ~ L_3 脊髓后角	T_{11} ~ L_3 脊髓侧角	经白交通支→交感干→腹腔丛→腹下丛→盆丛，或在交感干下行至交感干骶部	腰骶交感节和肠系膜下节	经盆丛→前列腺丛→盆部生殖器，或从腰节分支沿精索内动脉到睾丸	盆部生殖器平滑肌收缩配合射精；膀胱三角肌同时收缩，关闭尿道内口，防止精液反流，血管收缩
	副交感		S_2 ~ S_4 脊髓骶部副交感核	经骶神经→盆内脏神经→盆丛、前列腺丛	盆丛和前列腺丛的神经节	到前列腺和海绵体的血管	促进海绵体血管舒张，与会阴神经配合使阴茎勃起
子宫	交感	来自子宫底和体的痛觉纤维→子宫阴道丛→腹下丛→腰内脏神经和内脏最下神经，到达 T_{12} ~ L_2 脊髓后角	T_{12} ~ L_2 脊髓侧角	经白交通支→交感干→内脏最小神经和腰内脏神经→腹主动脉丛→腹下丛→盆丛→子宫阴道丛或在交感干下行至交感干骶部	腹下丛内的神经节，骶交感神经节	随子宫阴道丛至子宫壁	血管收缩，妊娠子宫收缩，非妊娠子宫舒张
	副交感	来自子宫颈的痛觉纤维经盆内脏神经到达 S_2 ~ S_4 脊髓后角	S_2 ~ S_4 脊髓骶部副交感核	经骶神经→盆内脏神经→腹下丛→盆丛→子宫阴道丛	子宫阴道丛内的子宫颈神经节及沿子宫血管的神经节	到子宫壁内	舒张血管，对子宫肌作用不明

（续表）

器官	神经	沿内脏神经的传入纤维路径	节前纤维		节后纤维		功能
			起源	路径	起源	路径	
肾上腺	交感		T_{10} ~ $L_{1(2)}$ 脊髓侧角	经白交通支→交感干→内脏小神经、内脏最小神经、肾上腺髓质			分泌肾上腺素
松果体	交感		脊髓的交感神经中枢	经白交通支→交感干	颈上节	随颈内动脉及其分支至松果体	促进5-HT转化为黑色素紧张素，间接抑制性腺活动
上肢的血管和皮肤	交感	经血管周围丛和脊神经到 T_2 ~ T_8 脊髓后角	T_2 ~ T_8 脊髓侧角	经白交通支→交感干	颈中节、颈胸神经节和上部胸节	经灰交通支→脊神经→血管和皮肤	皮肤内和血管壁肌收缩（胆碱能纤维使血管舒张），汗腺分泌，竖毛
下肢的血管和皮肤	交感	经血管周围丛和脊神经到 T_{10} ~ L_3 脊髓后角	T_{10} ~ L_3 脊髓侧角	经白交通支→交感干	腰节和骶节	经灰交通支→脊神经→血管和皮肤	皮肤内和血管壁肌收缩，汗腺分泌，竖毛（胆碱能纤维使血管舒张）

第八章

脑和脊髓的被膜、脑室和脑脊液、血液供应及血脑屏障

第一节　脑和脊髓的被膜

脑和脊髓的表面包被有三层被膜，由外向内依次为硬膜、蛛网膜和软膜，它们对脑和脊髓有保护和支持作用。

一、硬膜

硬膜（dura mater）厚而坚韧，由致密结缔组织构成，包被在脊髓和脑的最外面。包被脊髓的称硬脊膜；包被脑的称硬脑膜。

（一）硬脊膜

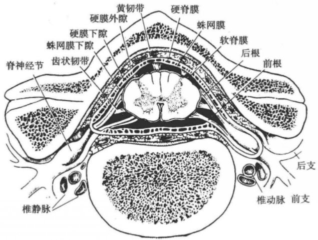


图 8－1　脊髓的被膜

硬脊膜（spinal dura mater）厚而坚韧，呈管状包被脊髓。硬脊膜上方附于枕骨大孔的边缘，并与硬脑膜相续；向下包裹脊髓和脊神经根，至第2或第3骶椎水平以下逐渐变细，包裹马尾；两侧包绕脊神经根，在椎间孔处与脊神经外膜相延续。硬脊膜与椎管内面骨膜之间的间隙称硬膜外隙（extradural space），内含静脉丛、疏松结缔组织、脂肪和淋巴管等。硬膜外隙内略呈负压，并有脊神经根通过（图8－1）。硬膜外隙向上不与颅内相通。临床上硬膜外麻醉，就是将药物注入此隙，以阻滞脊神经的神经传导。硬脊膜与蛛网膜之间还有一潜在的硬膜下隙（subdural space），内含浆液，向上与颅内的同名隙相通。

（二）硬脑膜

硬脑膜（cerebral dura mater）坚韧并有光泽，由两层构成。外层源于颅骨内骨膜，内层光滑，较外层坚厚，脑膜的血管和神经行于两层之间。硬脑膜与颅盖骨连结疏松，易于分离，临床硬脑膜血管损伤时，常形成硬脑膜外血肿。在颅底的硬脑膜与颅骨结合紧密，当颅底骨折时，易将硬脑膜和脑蛛网膜同时撕裂，造成脑脊液外漏。硬脑膜在枕骨大孔处，移行于硬脊膜，在脑神经出颅处，移行为神经的外膜。

硬脑膜在某些部位内外层分开，形成了特化的硬脑膜隔和硬脑膜窦。

1. 硬脑膜隔（dural septum） 是硬脑膜内、外两层分开，且内层离开外层并折叠伸入脑裂之中所形成板状结构，有大脑镰、小脑幕、小脑镰和鞍膈。

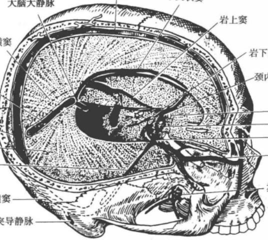


图8－2 硬脑膜及硬脑膜窦

（1）大脑镰（cerebral falx） 呈镰刀状，伸入两侧大脑半球之间。其后端连于小脑幕，下缘游离于胼胝体上方。

（2）小脑幕（tentorium of cerebellum） 位于大脑半球与小脑上面之间。小脑幕后外侧缘附于枕骨横沟和颞骨岩部上缘，前缘游离，形成弧形的小脑幕切迹（tentorial incisure）。小脑幕将脑分隔为幕上和幕下两部分。小脑幕切迹与中脑周围之间留有间隙，幕上或幕下有

占位性病变造成颅内压力过大时，可形成脑疝（cerebral hernia）。如幕上压力过高时，海马旁回和钩可以被挤入此间隙，形成小脑幕切迹疝而压迫大脑脚和动眼神经，导致动眼神经麻痹，肢体瘫痪等症状。

（3）小脑镰（cerebellar falx）　位于小脑幕下面正中，深入两小脑半球之间。

（4）鞍膈（diaphragma sellae）　位于蝶鞍上面，构成垂体窝的顶。中央有孔，有漏斗和垂体的血管通过。

2. 硬脑膜窦（dural sinuses）　为硬脑膜内、外两层在某些部位分开形成的管状腔隙，内面衬有内皮细胞（图8－2、3）。硬脑膜窦是颅内静脉血的回流通道，窦内含静脉血，无瓣膜，窦壁无平滑肌，无收缩性，故损伤时出血较多并难以止住，易形成颅内血肿。主要的硬脑膜窦有：

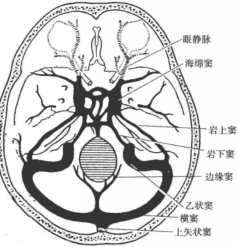


图8－3　颅底硬脑膜窦

（1）上矢状窦（superior sagittal sinus）　位于大脑镰上缘，前起自额骨盲孔，向后流入窦汇。

（2）下矢状窦（inferior sagittal sinus）　位于大脑镰游离缘的后2/3，向后汇入直窦。

（3）直窦（straight sinus）　位于大脑镰与小脑幕连接处，由下矢状窦和大脑大静脉汇合而成，向后注入窦汇。窦汇（confluence of sinus）由左右横窦、上矢状窦和直窦汇合而成。

（4）横窦（transverse sinus）　成对，位于横窦沟处，连于窦汇与乙状窦之间。

（5）乙状窦（sigmoid sinus）　成对，位于乙状窦沟内，是横窦的延续，向前于颈静脉孔处续为颈内静脉。

（6）海绵窦（cavernous sinus）　位于垂体窝两侧，左、右间借横支相连。是硬脑膜两层间的不规则腔隙，窦内被许多纤维小梁隔成许多小腔，形似海绵，因而得名。窦腔内有颈内动脉和展神经通过；动眼神经、滑车神经、眼神经和上颌神经紧贴窦外侧壁。

海绵窦与颅内、外静脉的交通十分广泛。向前经眼静脉、内眦静脉与面静脉相交通，因

此，面部感染可蔓延至海绵窦，引起海绵窦炎和血栓形成，累及窦内神经，出现相应症状。向后经岩上窦、岩下窦与乙状窦、横窦或颈内静脉相交通；经基底静脉丛与直窦和边缘窦相交通。向上经大脑中静脉及其与上矢状窦的交通支与上矢状窦相交通；向下经卵圆孔、破裂孔等处的导静脉与翼静脉丛相交通。

(7) *岩上窦*（superior petrosal sinus）*和岩下窦*（inferior petrosal sinus） 分别位于颞骨岩部的上缘和后缘，将海绵窦的血液分别引入横窦和颈内静脉。

主要硬脑膜窦的血液汇流途径如下：

上矢状窦 ──→ 窦汇

下矢状窦 ──→ 直窦 ──→ 窦汇 ──→ 横窦 ──→ 乙状窦 ──→ 颈内静脉

海 绵 窦 ──→ 岩上窦 ──→ 横窦

海 绵 窦 ──→ 岩下窦 ──→ 颈内静脉

二、蛛网膜

蛛网膜（arachnoid mater）位于硬膜与软膜之间，是一层透明的薄膜，跨越脊髓和脑的沟裂，缺乏血管和神经。蛛网膜与软膜之间有许多结缔组织小梁呈网状互相连接，两层之间的腔隙称蛛网膜下隙（subarachnoid space），腔内充满流动着脑脊液（图 8－4）。蛛网膜下隙在某些部位小梁消失，腔隙扩大称蛛网膜下池（subarachnoid cisterns）。

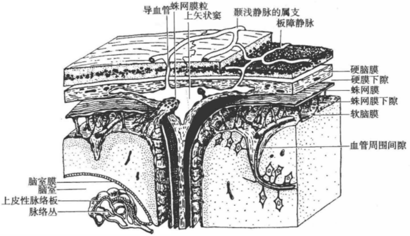


图 8－4　脑被膜模式图

(一) 脊髓蛛网膜

脊髓蛛网膜（spinal arachnoid mater）紧贴于硬脊膜的深面。脊髓蛛网膜下隙相对较宽，

并有较大的血管穿行其中，向上与脑蛛网膜下隙相通，下端于第1腰椎下缘平面以下扩大，称终池（terminal cistern），池内仅有马尾和终丝。临床上常在第3、4或第4、5腰椎间进行腰椎穿刺抽取脑脊液或注入药物而不伤及脊髓。

（二）脑蛛网膜

脑蛛网膜（cerebral arachnoid mater）紧贴于硬脑膜内面，与脊髓蛛网膜相延续。脑蛛网膜下池在小脑与延髓之间有小脑延髓池（cerebellomedullary cistern），临床上可在枕骨大孔处进行小脑延髓池穿刺，抽取脑脊液进行检查。此外，在两大脑脚之间有脚间池（interpeduncular cistern），视交叉前方有视交叉池（chiasmatic cistern），脑桥腹侧面有桥池（pontine cistern），胼胝体压部与小脑上面之间有上池（superior cistern），松果体突入此池。

脑蛛网膜在硬脑膜窦附近，特别是在上矢状窦处，形成许多绒毛状突起，突入上矢状窦内，称蛛网膜粒（arachnoid granulations）。脑脊液经此渗入硬脑膜窦。

三、软膜

软膜（pia mater）薄而富含血管和神经，紧贴脑和脊髓表面，并深入到沟裂内。按位置分为软脊膜和软脑膜。

（一）软脊膜

软脊膜（spinal pia mater）紧贴脊髓和脊神经根表面，向上经枕骨大孔与软脑膜相移行；向下在脊髓圆锥下端移行为终丝。软脊膜在脊神经前、后根之间向外侧突出形成齿状韧带（denticulate ligament），该韧带外侧呈锯齿状，其尖端与硬脊膜相连，有固定脊髓的作用。在椎管内的手术中，此韧带是一个重要标志（图8－1）。

（二）软脑膜

软脑膜（cerebral pia mater）紧贴在脑组织表面。在脑室的一定部位，软脑膜突入脑室，与其携带的血管和室管膜，共同构成脉络组织。在某些部位，脉络组织的血管反复分支成丛，夹带着软膜和室管膜上皮突入脑室，形成脉络丛（choroid plexus），脑脊液由此产生（图8－4）。

第二节　脑室及脑脊液

一、脑室

脑室是脑中的腔隙，壁内衬以室管膜（ependyma），腔内充满脑脊液，包括侧脑室、第三脑室和第四脑室（图8－5）。各脑室内均有脉络丛。

（一）侧脑室（lateral ventricle）

是端脑内的腔隙，位于两侧大脑半球内。按其形态和位置，可分为中央部、前角、后角和下角四部分。

1. 中央部（central part） 位于顶叶内，自室间孔至胼胝体压部之间。内上壁为胼胝体和透明隔，外下壁由穹隆、丘脑背面、侧脑室脉络丛、终纹、终静脉和尾状核构成。此部向内以室间孔与第三脑室相通。

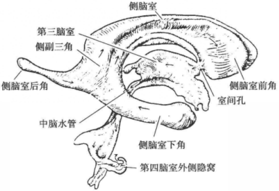


图 8-5 脑室示意图（侧面观）

2. 前角（anterior horn） 为室间孔以前的部分，伸入额叶。其顶壁和前壁为胼胝体，内侧壁为透明隔，腹外侧壁为尾状核的头。

3. 后角（posterior horn） 较小，为中央部伸入枕叶而成。其顶壁和外侧壁为胼胝体，内侧壁由两条前后方向的纵行隆起组成；背侧的较小，由胼胝体压部放射到枕叶的纤维组成；腹侧的较大，是距状沟前部陷入的皮质。

4. 下角（inferior horn） 最大，位于颞叶内。其长轴与颞上沟一致，尖端距颞极约 2.5cm。其顶壁外侧大部为胼胝体，内侧小部分由尾状核尾和终纹构成。底壁内侧为隆起的海马。

（二）第三脑室（third ventricle）

是两侧间脑之间呈矢状位的裂隙。其前部经室间孔与侧脑室连通，向后下经中脑水管通第四脑室。其前壁下部为终板，上部由前连合和穹隆柱构成；后壁上部为缰连合、松果体和后连合，下部是大脑脚的前端；顶壁为第三脑室脉络组织；底壁主要由下丘脑构成；侧壁为间脑的内侧面，以下丘脑沟为界，上部是背侧丘脑，下部是下丘脑。

（三）第四脑室（fourth ventricle）

位于延髓、脑桥与小脑之间。第四脑室底为菱形窝，室顶形似帐篷。第四脑室向上与中脑水管相通，向下通脊髓中央管，背侧借脉络组织上的正中孔和两个外侧孔与蛛网膜下隙相通，脑室系统诸脉络丛所产生的脑脊液，经上述三孔流入蛛网膜下隙。（图 8-6）

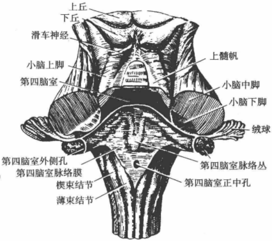


图 8-6 第四脑室背面观

（四）中脑水管（mesencephalic aqueduct）

为中脑的室腔，又称大脑水管（cerebral aqueduct）（图 8-7）。中脑水管周围有一厚层

灰质，称导水管周围灰质（periaquéductal gray substance，PAG）。中脑水管前端通第三脑室，开口的背侧恰是后连合；后端与第四脑室上角相移行。中脑水管的平均长度为1.5～2.0cm，直径约1～2mm，是脑室系统中最狭窄的部位，是脑脊液循环受阻的常见部位之一。

二、脑脊液及其循环

脑脊液（cerebrospinal fluid，CSF）是位于脑室、蛛网膜下隙和脊髓中央管内的无色透明液体，呈弱碱性，功能上相当于淋巴。对中枢神经系统有营养、运送代谢产物、缓冲、保护和调整颅内压等作用。成人脑脊液总量平均约140ml，处于循环不已，动态平衡之中（图8－7）。

脑脊液主要产生于脑室的脉络丛，少量来自室管膜和脑毛细血管床。侧脑室脉络丛分泌的脑脊液经室间孔流入第三脑室，在此与第三脑室脉络丛分泌的脑脊液汇集，经中脑水管流至第四脑室，再汇集第四脑室脉络丛分泌的脑脊液经第四脑室的正中孔和两个外侧孔流入蛛网膜下隙，经蛛网膜粒渗入硬脑膜窦，回流入静脉。若脑脊液生成过多、吸收太少或循环受阻，均可导致脑积水和颅内压升高，甚至形成脑疝，危及生命。

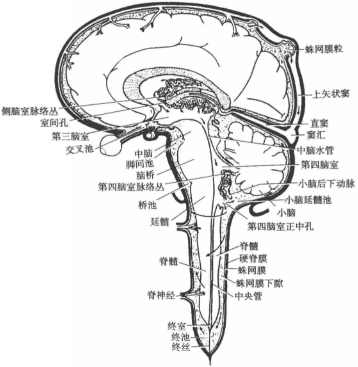


图8－7　脑脊液循环示意图

传统的观念认为，脑脊液的化学成分与脑的细胞外液相似，内含无机离子、葡萄糖、微量蛋白和少量淋巴细胞。近年来的研究表明，脑脊液内还含有大量的神经递质、内分泌激素、免疫细胞因子、蛋白质以及淋巴细胞等。在人的脑脊液中已检出的有加压素（vasopressin，VP），生长抑素（somatotropin release inhibiting factor，SRIF），P物质（substance P，SP）、脑啡呔（enkephalin，ENK），胆囊收缩素（cholecystokinin，CCK），血管紧张素（angiotensin，ANG）等10余种肽类物质，这些物质与脑的功能和内分泌活动密切相关。在传统

的中枢、周围神经系统线性神经通路之外，存在由脑脊液中介的脑－脑脊液神经体液回路(brain－CSF neurohumoral circuit)。其结构基础是触液神经元（接触脑脊液的神经元）、室管膜和脑－脑脊液屏障的不完整性。此学说为神经体液调节增添了新内容，也为临床开辟了一条诊断和治疗疾病的新途径。神经系统疾病时，既可抽取脑脊液进行检测，又可经脑室内给药治疗。

第三节　脑和脊髓的血管

一、脑的血管

脑的代谢非常旺盛，耗氧量约占机体总耗氧量的1/5。脑重量只占体重的2%～3%，但所需供血量要占心输出量的15%～20%。脑血液供给减少或中断立即导致脑缺氧、缺糖，引起功能障碍，如不及时恢复血流，神经细胞就会肿胀、死亡。

（一）脑的动脉

来源于颈内动脉和椎动脉（图8－8）。颈内动脉分支供应大脑半球的前2/3和部分间脑，形成颈内动脉系。椎动脉和基底动脉发出的分支供应大脑半球的后1/3及部分间脑、脑干和小脑，形成椎－基底动脉系。两系动脉在大脑的分支可分为皮质支（营养大脑皮质及其下方的髓质）和中央支（深入脑实质供应基底核、内囊和间脑等）。

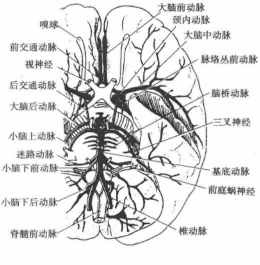


图8－8　脑底的动脉

1. 颈内动脉（internal carotid artery）　自颈总动脉发出，经颈部向上至颅底颈动脉管外口、颈动脉管入颅，穿过海绵窦后，转向上外侧达脑的底面而分支。按其行程可将颈内动脉分为颈段、颈动脉管段、海绵窦段和脑段4部分。临床上则将海绵窦段及其上方的弯曲，即颈内动脉的颅内部分称为虹吸部(siphor)，常呈“U”或“V”形，是动脉硬化的好发部位。颈内动脉在穿出海绵窦处发出眼动脉，供应脑部的分支主要有：

（1）大脑前动脉（anterior cerebral artery）　是颈内动脉较小的终支。在视交叉外侧三角处由颈内动脉分出，经视交叉上方向前内入大脑纵裂，借前交通动脉（anterior communicating artery）与对侧大脑前动脉相连，然后沿胼胝体背侧向后行（图8－9）。

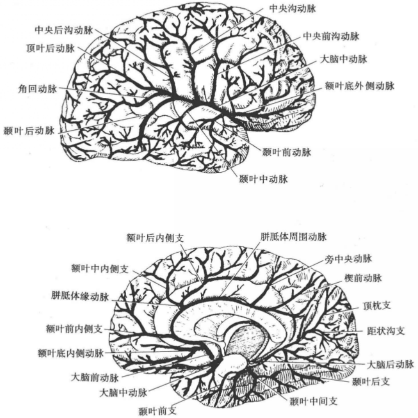


图8－9　大脑前、中、后动脉分布图

大脑前动脉皮质支主要分布于额、顶叶的内侧面、两叶上外侧面的边缘部及额叶底面的一部分。

大脑前动脉中央支发自大脑前动脉交通近侧段，为一群小的分支，又叫前内侧丘纹动脉（anteromedial thalamostriate arteries），分为内、外侧两组。内侧组是供应基底核重要而恒定的血管。分布于豆状核壳、尾状核前部及两者之间的内囊前肢和眶面内侧部的皮质。该动脉闭塞时，可引起上肢轻瘫、面部和软腭瘫痪。外侧组分布于尾状核前部的内侧面，以及视上核和胼胝体膝等处。

（2）大脑中动脉（middle cerebral artery）　是颈内动脉最大的终支，是颈内动脉的直接延续，向外行于大脑半球外侧沟内，在岛叶表面向后上行。发出皮质支主要分布于大脑半球上外侧面的大部分（半球的边缘除外）和顶枕裂以前的岛叶，包括躯体运动中枢、躯体感觉中枢和语言中枢。大脑中动脉是最易发生血液循环障碍的动脉，当该动脉出现阻塞或破裂时，产生严重的机能障碍。（图8－9、10）

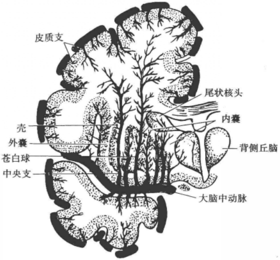


图 8－10　大脑中动脉分布图

大脑中动脉的中央支称前外侧中央动脉（anterolateralcentral arteries）或称前外侧丘纹动脉（anterolaterl thalamostriate arteries），又称豆纹动脉，分内侧支和外侧支。主要分布于豆状核、尾状核和内囊。在动脉硬化和高血压等情况下易破裂出血（中风），所以又称其“脑出血动脉”。

（3）后交通动脉（posterior communicating artery）　起自颈内动脉的后壁，在视束下方走行，与大脑后动脉吻合。是颈内动脉系和椎－基底动脉系之间重要的交通路径。

（4）脉络丛前动脉（anterior choroid artery）　自颈内动脉末端发出，沿视束下面后行于海马回钩与大脑脚之间，入侧脑室下角终于脉络丛。沿途发出分支分布于外侧膝状体、内囊后肢、大脑脚底的中 1/3、纹状体、下丘脑、海马等结构。此动脉在蛛网膜下隙行程较长，管径较小，易发生栓塞。

2. 椎动脉（vertebral artery）　起于锁骨下动脉，向上穿行于第 6 至第 1 颈椎横突孔，经枕骨大孔入颅。入颅后由延髓外侧面，逐渐转向前内侧，至脑桥下缘会合成基底动脉（basilar artery），后者沿脑桥腹侧面的基底沟上行，到脑桥上缘分成左、右大脑后动脉（图 8－8、9）。

（1）椎动脉的主要分支

1）脊髓前、后动脉（见脊髓的血管）

2）小脑下后动脉（posterior inferior cerebellar artery）：为椎动脉的最大分支，多在橄榄体下缘发出，向后外行经延髓和小脑扁桃体之间，分布于小脑下面后部及延髓后外侧部。该动脉行程弯曲，较易发生栓塞。

（2）基底动脉的主要分支

1）小脑下前动脉（anterior inferior cerebellar artery）：自基底动脉下部发出，多向后外行于展神经、面神经和前庭蜗神经的腹侧，分布于小脑下面的前外侧部。

2）迷路动脉（labyrinthine artery）：细长，多从小脑下前动脉发出，伴面神经和前庭蜗神经入内耳道，分布于内耳。

3）脑桥动脉（pontine arteries）：有许多小支，从基底动脉后面或两侧发出，分布于脑桥和邻近结构。

4）小脑上动脉（superior cerebellar artery）：近基底动脉末端处发出，绕大脑脚向后，分布于小脑上部。

5）大脑后动脉（posterior cerebral artery）：为基底动脉的终末支，在脑桥上缘发出，绕大脑脚向后行，越过海马沟向后，再横过海马回后端入距状裂，分为距状裂动脉和顶枕裂动脉两终支。皮质支分布于颞叶的内侧面和底面及枕叶（图 8－9）。中央支经脚间窝入脑实质，分布于背侧丘脑、内侧膝状体、下丘脑和底丘脑等处。

3. 大脑动脉环（cerebral arterial circle）　又称 Willis 环，位于大脑底面，蝶鞍上方，环绕在视交叉、灰结节、漏斗和乳头体周围。由前交通动脉、两侧大脑前动脉起始段、两侧颈内动脉末端、两侧大脑后动脉借后交通动脉连通而成。大脑动脉环使两侧颈内动脉系和椎－基底动脉系得以沟通。在正常情况下，大脑动脉环各血管的血液不混流。当动脉环的某一血管血流减少或阻塞时，血液可经大脑动脉环重新分配。此环在一定程度上可平衡脑内各动脉血压、调节各血管之间的血流，以维持脑的血液供应。（图 8－8）

（二）脑的静脉

脑静脉管壁较薄，管腔较大，无瓣膜，不与动脉伴行。脑的静脉最后穿过蛛网膜和硬膜内层开口于硬膜静脉窦。大脑的静脉分为浅、深两组。在脑表面或髓质内，两组静脉间有吻合支。

大脑浅静脉（superficial cerebral veins）位于脑表面（图 8－11），依其位置可分为大脑上静脉（外侧沟以上），沿脑沟上行，向上注入上矢状窦；大脑中浅静脉沿外侧沟向前走行，注入海绵窦；大脑下静脉（外侧沟以下），注入横窦和大脑大静脉。大脑浅静脉主要收集大脑半球的皮质和皮质下髓质的静脉血，注入上矢状窦和颅底的静脉窦。

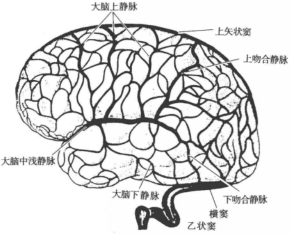


图 8－11　大脑浅静脉

大脑深静脉（deep cerebral veins）主要收集大脑半球深部髓质、间脑、基底核、内囊及脑室脉络丛等处的静脉血。每侧大脑半球深部的静脉汇合成一条大脑内静脉，左、右大脑内静脉在胼胝体压部的后下方汇合成一条大脑大静脉（great cerebral vein），又称 Galan 静脉，最后注入直窦。

二、脊髓的血管

(一) 脊髓的动脉

脊髓的动脉有两个来源：①来自椎动脉的分支即脊髓前、后动脉；②来自节段性动脉的分支脊髓支，又称根动脉（图 8－12）。

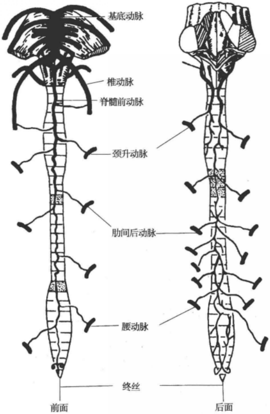


图 8－12　脊髓的动脉

1. 脊髓前动脉（anterior spinal artery）　由椎动脉在合成基底动脉之前发出。在延髓锥体交叉处两条脊髓前动脉合成一干，沿脊髓前正中裂下行至脊髓末端。沿途接受 5～8 支前根动脉。脊髓前动脉约营养脊髓前面的 2/3，主要供应脊髓前角、侧角、中央灰质和后角基底部，也供应前索和侧索的深部。

2. 脊髓后动脉（posterior spinal artery）　多由椎动脉在延髓前面发出，也有来源于小脑下后动脉。发出后转向背侧，在脊髓的后外侧沟内下降。在下降的过程中接受 6～10 条后根动脉注入，形成纵行丛状血管干。脊髓后动脉供应后角和后索，即脊髓的后 1/3。

3. 根动脉（root artery） 是节段性血管，来自颈升动脉、颈深动脉、肋间后动脉、腰动脉和骶动脉等。该动脉从椎间孔入椎管，沿脊神经前、后根分为前根动脉和后根动脉，并与脊髓前、后动脉一起形成沿脊髓纵行的吻合管，它们是供应胸、腰、骶和尾髓的主要动脉（图 8－13）。

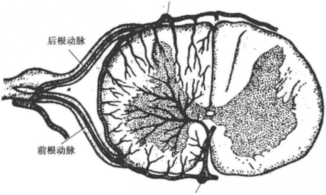


图 8－13 脊髓内部的动脉分布

（二）脊髓的静脉

脊髓静脉属于椎静脉系，属支大致与动脉相似，脊髓前、后静脉血汇入前、后根静脉流入硬膜外隙内的椎内静脉丛。

第四节 脑 屏 障

神经系统特别是中枢神经神经元的正常生理活动，有赖于其周围环境的稳定。而其周围环境的稳定，取决于其周围的血液、脑脊液、脑组织以及血液、脑脊液中的物质交换的调节。许多物质很容易透过身体其他部位的毛细血管壁，到达周围组织，但透过脑的毛细血管壁到达脑组织时要受到一定的限制或选择，这就是脑屏障。目前认为脑屏障包括血－脑屏障、血－脑脊液屏障和脑脊液－脑屏障（图 8－14）。

一、血－脑屏障

血－脑屏障（blood－brain barrier，BBB）是血液与脑、脊髓神经元之间一种选择性阻止某些物质通过的屏障。

脑和脊髓的毛细血管在构造和酶系统上都有别于其他器官，与血－脑屏障有关的结构特点是：①脑和脊髓的毛细血管内皮细胞无窗孔，内皮细胞之间为紧密连接，使蛋白质等大分子物质难以通过；②毛细血管内皮的外面有一层连续的电子密度均匀的基膜；③毛细血管基

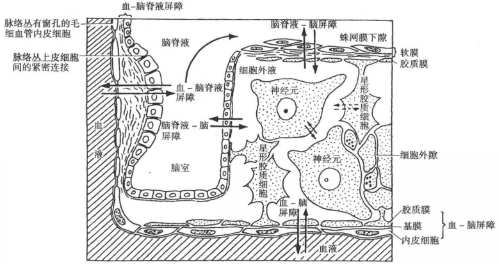


图 8－14 脑屏障的结构和位置

膜外有由胶质细胞足板形成的胶质膜。这些结构在很大程度上阻止了蛋白等大分子的通过，但水和某些离子等小分子物质可以通过。如将台盼蓝（trypan blue）染液注入兔的静脉内，身体其他组织和脉络丛都被染上蓝颜色，唯独脑组织不着色。

血－脑屏障是由脑和脊髓内毛细血管内皮细胞紧密连接，基膜及星形胶质细胞足板形成的复合体（图 8－15）。不仅有机械阻挡作用，而且其极性分布的电荷、特殊的酶系统和免疫反应等也参与屏障机制，共同调节血液与细胞外液以及脑脊液之间的物质交换，维持脑内微环境的稳定。

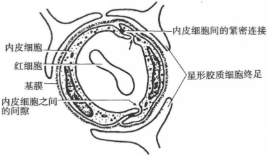


图 8－15 血－脑屏障模式图

在中枢神经的某些部位缺乏血－脑屏障，毛细血管内皮细胞有窗孔，内皮细胞间无紧密连接，留有间隙，可使蛋白质和大分子物质自由通过，如正中隆起、连合下器、穹隆下器、终板血管器官、神经垂体、松果体、最后区、脉络丛等。这些结构多位于第三、四脑室壁

上，故又称室周器官（circumventricular organs，CVOs）。

二、血－脑脊液屏障

血－脑脊液屏障（blood－cerebrospinal fluid barrier，BCB）位于脉络丛处，是血液与脑脊液之间一种选择性阻止某些物质通过的屏障。由脉络丛毛细血管内皮细胞、基膜和脉络丛上皮细胞构成。脉络丛的毛细血管内皮有窗孔，因此，脉络丛上皮细胞之间的闭锁小带（属紧密连接）是其主要结构基础。水、气体等物质可以从血液自由进入脑脊液，但蛋白质等大分子物质则不能进入。血－脑脊液屏障具有一定的通透性，但可使脑脊液保持稳定，成分有别于血液。

三、脑脊液－脑屏障

脑脊液－脑屏障（cerebrospinal fluid－ brain barrier，CBB）是脑脊液与脑组织之间一种有选择性阻止某些物质由脑脊液入脑的屏障，位于脑室和蛛网膜下隙的脑脊液与脑、脊髓的神经组织之间。其结构基础为室管膜上皮、软脑膜和软膜下胶质膜。由于室管膜上皮之间主要为缝隙连接，不能有效限制大分子通过，软脑膜的屏障作用也很低。因此，脑脊液的化学成分与脑组织细胞外液的成分大致相同。此屏障的作用很小，如将台盼蓝染液注入蛛网膜下隙，脑组织很快被染上蓝颜色。

总之，在脑和脊髓的各个部位，凡有毛细血管处，均有血－脑屏障；凡有脉络丛或分泌脑脊液的结构部位均有血－脑脊液屏障；在室管膜和软膜部位，可能有脑脊液－脑屏障。这些屏障系统选择性地调节各种物质的渗透性。其生理意义在于保持中枢神经系统内环境的稳定，免受内、外环境各种物理和化学因素的影响，从而确保中枢神经系统功能的正常进行。但在某些病理情况下，脑屏障受损，脑屏障的通透性会发生改变，使脑和脊髓神经细胞受到各种致病因素的攻击，导致脑水肿、脑积水、免疫异常和使原有病情加重等严重后果。如癫痫发作、脑外伤、酗酒、过度紧张可增加脑屏障的通透性；而睡眠、衰老、精神病等可降低其通透性。

第九章

神经递质、神经调质及神经营养物质

随着神经科学研究的发展，在神经系统已发现了百余种参与神经信息传递的化学物质，这些化学物质根据其结构、功能以及化学合成、代谢特点分为经典的神经递质、神经调质和神经营养物质等。

第一节 神经递质

一、概述

（一）经典神经递质的概念

神经递质（neurotransmitter）是指由神经末梢所释放的特殊化学物质，它能通过突触间隙作用于突触后的特异性受体，完成信息传递的神经活性物质。神经递质具有以下特点：①在神经细胞内合成，并主要贮存于突触前神经元的囊泡内；②通过化学突触发挥效应，在突触后膜上存在其特异性受体；③在神经系统内存在神经递质失活的酶系统或重摄取环节；④用递质拟似物或受体阻断剂能加强或阻断这一递质的突触传递作用。

（二）经典神经递质的分类

经典的神经递质
- 胆碱类：乙酰胆碱
- 单胺类
  - 儿茶酚胺：去甲肾上腺素、肾上腺素、多巴胺
  - 吲哚胺：5－羟色胺
  - 组织胺：组胺
- 氨基酸类
  - 兴奋性氨基酸：谷氨酸、天冬氨酸
  - 抑制性氨基酸：γ－氨基丁酸等

二、乙酰胆碱

（一）乙酰胆碱在神经系统的代谢

乙酰胆碱（acetylcholine，ACh）主要在神经末梢中合成，只有少量来自胞体。乙酰胆碱的合成需要乙酰辅酶 A 及胆碱，它们在胆碱乙酰转移酶（choline acetyltransferase，ChAT）的催化下生成乙酰胆碱。ChAT 只存在于胆碱能神经元内，它在神经元的胞体中合成后，通过轴突转运机制运至神经末梢，参与乙酰胆碱的合成，ChAT 是胆碱能神经元的特异性酶，ChAT 的分布可以作为胆碱能神经元的定位标志。神经冲动可通过神经末梢释放乙酰胆碱，乙酰胆碱与乙酰胆碱受体结合发挥生物学效应，发挥作用后的乙酰胆碱可被乙酰胆碱酯酶（acetylcholinesterase，AChE）很快水解为乙酸和胆碱而失活，胆碱可被摄取和再利用。

（二）中枢胆碱能神经元的胞体定位和纤维联系

1. 胞体定位　在中枢神经系统内胆碱能神经元分布广泛，主要分布于大脑皮质、Meynert 基底核、Broca 斜角核、新纹状体和伏核等；间脑的内侧缰核、弓状核和下丘脑外侧区；脑干的脑神经运动核及网状结构；脊髓的前角和侧角、中间内侧核和后角灰质（Ⅱ、Ⅲ层）等。在周围神经分布于部分交感神经节节后神经元（分布至汗腺）和全部副交感神经节的神经元。

2. 中枢胆碱能神经元纤维联系　胆碱能神经元的纤维联系也很广泛，其中包括由中枢至周围神经系统或效应器的投射通路以及中枢不同部位之间的投射通路。

（1）*局部回路神经元系统*　包括尾壳核、伏核、嗅结节和 Calleja 岛复合体的中间神经元。

（2）*投射神经元系统*　胆碱能躯体和内脏运动系统，包括脊髓前角、脑干的躯体运动核和特殊内脏运动核都是胆碱能的性质，发出纤维至全身骨骼肌；位于脊髓和脑干的交感和副交感节前神经元也是胆碱能性质的。

（3）*其他*　基底前脑至端脑的投射；隔－海马投射；隔核、斜角带核－缰核－脚间核通路；脑桥中脑被盖上行投射至丘脑和黑质等也可下降至脑桥和延髓网状结构、小脑深核、前庭神经核、桥核以及脑神经核等。

（三）乙酰胆碱受体

可分为两种：一种为烟碱受体（nicotinic receptor），也称 N 型受体，N 型受体可分为 N_1 和 N_2 两种亚型。它在周围主要分布在不同种族动物的神经骨骼肌接头或电器官以及植物性神经节内，前者称为骨骼肌/电器官烟碱受体，为 N_2 型受体，后者为神经节烟碱受体，为 N_1 型受体。在中枢神经系统内也含有中枢神经元烟碱受体。不同部位的烟碱受体其药理学性质不同。另一种为毒蕈碱受体（muscarinic receptor），也称 M 型受体，现已克隆出 M_1 ~ M_5 五个亚型。M_1 主要分布在大脑皮质、海马、纹状体等神经组织中；M_2 受体主要分布在心脏；M_3 受体主要分布在外分泌腺上，平滑肌和神经组织中也有少量分布；M_4 和 M_5 受体虽已被克隆，但其分布和功能尚不完全清楚。

（四）乙酰胆碱的主要生理功能

参与了学习记忆过程，感觉和运动功能的调节，也参与了睡眠觉醒的维持，并与机体疼

痛的调节有关。

三、去甲肾上腺素和肾上腺素

去甲肾上腺素（noradrenaline，NA）、肾上腺素（adrenaline，A）和多巴胺（dopamine，DA）同属儿茶酚胺，它们有共同的代谢途径。

（一）儿茶酚胺的代谢

胺合成的原料为酪氨酸，在胞浆内经酪氨酸羟化酶（tyrosine hydroxylase，TH）催化形成多巴，再经多巴脱羧酶（dopa decarboxylase，DDC）催化形成多巴胺。多巴胺进入囊泡，经多巴胺β-羟化酶而形成NA，合成的NA储存于囊泡内。当冲动到达神经末梢时，囊泡内的NA可能主要通过胞吐的方式释放到突触间隙。NA与突触后膜上的受体结合发挥作用。NA发挥生理效应之后，大部分被神经末梢重摄取（重摄取量约占释放总量的3/4），NA的最终失活是通过单胺氧化酶（monoamine oxidase，MAO）和儿茶酚胺氧位甲基转移酶降解而丧失活性。在肾上腺素能神经元或肾上腺髓质内，在苯乙醇胺氮位甲基移位酶的作用下，NA可进一步形成A。

（二）去甲肾上腺素能和肾上腺素能神经元的位置和纤维联系

1. 去甲肾上腺素能神经元的位置和纤维联系 去甲肾上腺素（NA）是已公认的外周和中枢神经系统的递质。在体内有三种细胞合成NA，包括中枢内肾上腺素能神经元、交感神经节节后神经元和肾上腺髓质的嗜铬细胞。在中枢，NA能神经纤维的分布非常广泛，但去甲肾上腺素能神经的胞体主要集中在延髓和脑桥。Fuxe等将其分为A_{1-7}7个细胞群。A_1细胞群位于外侧网状核及其周围（腹外侧）；A_2细胞群位于舌下神经核的背外侧、孤束核、迷走神经背核附近；A_3细胞群位于背侧副橄榄核及其背侧；A_4细胞群是由室管膜下神经元组成，呈带状沿小脑上脚至A_6细胞群的尾侧；A_5细胞群位于面神经核周围和上橄榄核外侧。A_6细胞群位于蓝斑内；A_7细胞群位于脑桥外侧网状结构内。

2. 肾上腺素能神经元的位置和纤维联系 中枢内存在A能细胞群，可分为腹（C_1）、背（C_2、C_3）两组。C_1组位于延髓腹外侧的外侧网状结构附近，为A_1细胞群嘴侧的延续；C_2组主要定位于迷走神经背核复合体，大量胞体在孤束核内；C_3组位于延髓背侧，内侧纵束间的中线上。腹侧群的A能神经元发出上行和下行通路，上行通路主要支配室周区，下行通路主要投射支配脊髓交感柱。

（三）肾上腺素受体

肾上腺素受体能识别和结合NA和A，分α、β两种。α、β各有两个亚型，α_1、α_2及β_1、β_2。在脑的不同部位和脊髓内各型NA受体的密度不同。近代的研究发现β_1受体的分布与脑内NA神经元的通路近似，β_2受体可能存在于脑内胶质细胞和脑血管壁的肌层。

（四）去甲肾上腺素和肾上腺素的主要生理功能

主要表现在可以调节心血管的活动，在脊髓水平参与了镇痛的过程及针刺镇痛，在脑内多倾向于去甲肾上腺素有拮抗吗啡镇痛和针刺镇痛作用等。

四、多巴胺

1．多巴胺的代谢和神经元胞体的位置及纤维投射　多巴胺（dopamine，DA）又称二茶酚乙胺，它不仅是 NA 生物合成中的一个中间环节，而且也是一个独立的神经递质。在胞浆内酪氨酸经酪氨酸羟化酶催化形成多巴，再经多巴脱羧酶催化形成多巴胺，多巴胺进入囊泡贮存，多巴胺的失活前已叙述。

多巴胺神经元在中枢位于中脑、间脑内，特别是中脑为 DA 能神经元胞体最密集的部位。在哺乳类动物脑内约有 80% 的 DA 存在于黑质及纹状体内，尤以尾－壳核含量最高。在外周，一般认为 DA 能神经元位于交感神经节内，是一种含颗粒的小细胞，称为小颗粒细胞。脑内的多巴胺受体分两个亚型：D_1 和 D_2。它们有各自的特征、定位及功能。

2．多巴胺的主要生理功能　多巴胺可参与躯体运动的调节和精神情绪活动，有拮抗镇痛作用，可调节心血管活动，也可调节垂体内分泌功能。

五、5－羟色胺

1．5－羟色胺的代谢和神经元胞体的位置　5－羟色胺（5－hydroxytryptamine，5－HT）在化学结构上属于吲哚胺。占全身总量 90% 的 5－HT 位于胃肠道，8% ~9% 存在于血液，还有一小部分位于各种组织的肥大细胞，存在于中枢神经系统内的 5－HT 只占全身含量的 1% 左右。

5－HT 的生物合成是以色氨酸（tryptophan，TP）为前提，在色氨酸羟化酶（tryptophan hydroxylase，TPH）作用下生成 5－羟色氨酸（5－HTP），后者在 5－HTP 脱羧酶（5－HTP-DC）的作用下脱羧基生成 5－HT。在胞浆中合成的 5－HT 很快被囊泡摄取和储存。其囊泡也为致密中心囊泡，在电镜下与儿茶酚胺类囊泡不易区分。

在脊椎动物外周神经系统还没有发现 5－HT 能神经元，在中枢神经系统 5－HT 能神经元主要分布于脑干中缝核区和旁正中区，共分为 9 群即 B_1 ~ B_9，主要在中缝核群，也分布于中缝核群外侧的网状结构区。

2．5－HT 的受体　共分七类，5－HT_1、5－HT_2、5－HT_3 和 5－HT_4 的分布、功能和亚型已有较全面的了解，而其他的 5－HT 受体只是在基因水平上被认识。

3．5－HT 的主要生理功能　5－HT 与睡眠有密切关系，也对心血管功能有调节作用，另外 5－HT 在中枢参与了多方面的痛觉调制、镇痛的作用；在周围组织 5－HT 却参与致痛过程。

六、组胺

1．组胺能神经元的代谢和分布　已经证明组胺（histamine，HA）已构成独立的组织胺能神经元系统，参与神经系统的功能调节，起神经递质或神经调质的作用。

组胺又名咪唑乙胺，不能透过血脑屏障，需在脑内合成。组胺的合成较简单，在 L－组氨酸脱羧酶（L－histidine decarboxylase，HDC）的作用下，由组氨酸脱羧基生成，以磷酸吡哆醛作为辅酶。组胺在胞浆中合成，然后贮存在囊泡内。组胺释放后，由于缺乏重摄取系

统，它的失活主要是通过酶的降解，在脑内，组胺在组胺 - N - 甲基转移酶（histamine - N - methyltransferase，HNMT）的作用下，生成 tele - 甲基组胺，然后再经 B 型单胺氧化酶催化，氧化成 tele - 甲基咪唑乙酸，它为组胺的最终底物。

组胺在结缔组织的肥大细胞中，含量很高，发挥很强的生物效应，参与炎症、过敏等局部病理变化；而在脑内含量较低，在灰质中的含量高于白质。脑内的组胺不仅存在于神经细胞内，也存在于神经元外，前者为神经元组织胺，此神经元是组胺能神经元，后者为非神经元组胺，它存在于脑内的肥大细胞中，主要分布在正中隆起、松果体和脑膜等部位。组胺能神经末梢在脑内分布广泛，但很少与周围神经元形成突触联系。组胺能神经末梢可与胶质细胞和毛细血管相接触。

2. 组胺的受体 分两类，H_1 和 H_2 受体。组胺在外周通过 H_1 受体参与过敏和炎症反应，通过 H_2 受体促进胃酸分泌。在脑内也存在 H_1 和 H_2 两种类型的组胺受体，还发现新的 H_3 受体。H_1 和 H_2 受体都位于突触后，不仅存在于神经细胞膜上，也存在在星形胶质细胞和脑血管上。H_3 受体是 Arrang 等在 1983 年发现的，位于突触前，是一种自身受体，对组胺的释放有抑制作用，也能抑制组胺的合成。此外 H_3 受体还存在于其他神经末梢上，可抑制 5 - HT 和 NA 等的释放。

3. 组胺的主要生理功能 组胺参与了神经内分泌的调节，与维持机体的觉醒状态有关，在脑室内注射或向中缝背核内注射组胺，可引起明显的镇痛作用。前已提及在外周组胺是一个重要的致炎因子，它可由炎症局部的肥大细胞释放，参与局部炎症的过敏反应和致痛。

七、氨基酸

氨基酸类神经活性物质包括兴奋性氨基酸和抑制性氨基酸两大类。本部分主要介绍兴奋性氨基酸——谷氨酸和天冬氨酸；抑制性氨基酸——γ - 氨基丁酸。这些氨基酸在神经系统内发挥神经递质的作用，另外，它们以中间代谢物的身份参与蛋白质和肽的合成以及维持细胞内外水和离子的分布过程。

（一）兴奋性氨基酸

1. 兴奋性氨基酸的代谢 谷氨酸（glutamic acid，Glu）和天冬氨酸（aspartic acid，Asp）是不能透过血脑屏障的非必需氨基酸，不能通过血液供给脑，需由葡萄糖和其他前体经多条生物化学途径在脑内合成。它们可通过葡萄糖三羧酸循环产生 α - 酮戊二酸和草酸乙酸，经转氨酶的作用分别产生谷氨酸和天冬氨酸；谷氨酸也可由谷氨酰胺经谷氨酰胺酶水解产生。目前因为缺乏选择性拮抗剂，用生理学或生物化学的方法很难将谷氨酸和天冬氨酸分开。

2. 兴奋性氨基酸分布、神经元的位置和纤维联系 兴奋性氨基酸对大脑皮层、海马、丘脑、小脑及脊髓神经元都产生很强的兴奋作用，是大多数兴奋性神经元的递质。谷氨酸是哺乳动物和人脑内含量最高的游离氨基酸，其浓度超过牛磺酸、谷氨酰胺和天冬氨酸 3 ~ 4 倍，但各脑区之间的差别很少超过 2 倍。

在中枢神经系统内谷氨酸神经元的胞体见于新皮质、海马、嗅球、苍白球、丘脑网状核、丘脑板内核、黑质、脊髓的中间神经元及前角细胞和小脑皮质；在周围神经系统内，神经元的胞体位于前庭神经节、蜗神经节、迷走神经的下神经节（结状神经节）和脊神经节内。

3. 兴奋性氨基酸的受体 兴奋性氨基酸的受体可分为离子型和代谢型两大类，共 5 型 20 余种亚型。

（1）离子型谷氨酸受体（ionic glutamate receptors，iGlu Rs）　分为 NMDA 型（N－甲基－D－天冬氨酸型）和非 NMDA 型。非 NMDA 型包括 AMPA 型（α－氨基羟甲基噁唑丙酸型，以前称使君子酸型，QA）、海人藻酸型（KA）。AMPA 受体亚型有 4 种（$GluR_1$、$GluR_2$、$GluR_3$、$GluR_4$），KA 受体亚型有 5 种（$GluR_5$、$GluR_6$、$GluR_7$、KA－1、KA－2）。非 NMDA 型和 NMDA 型受体的主要区别为对膜电位不敏感，对 Ca^{2+} 的通透性低。

（2）代谢型谷氨酸受体（metabotropic glutamate receptors，mGluRs）　它是一种与磷酸肌醇代谢偶联的兴奋性氨基酸受体，至少有 8 个不同的亚型（命名为 $mGluR_{1-8}$）。

4. 兴奋性氨基酸的主要生理功能　在中枢兴奋性氨基酸参与兴奋性突触的传递作用，并可能通过长时程增强（long－term potentiation，LTP）和长时程抑制（long－term depression，LTD）学习、记忆；兴奋性氨基酸和受体也介导周围伤害性刺激向脊髓背角的传递和痛觉过敏；另外，兴奋性氨基酸对急性神经元损伤和神经系统的许多退行性疾病有毒性作用。

（二）抑制性氨基酸——γ－氨基丁酸（γ－amino－butyric acid，GABA）

1. GABA 的代谢　在 1950 年 GABA 被发现存在于哺乳动物的脑内，1966 年 Krnjecvic 证明 GABA 是神经组织释放的起抑制作用的氨基酸。

GABA 是由脑内的谷氨酸经 GABA 合成酶、谷氨酸脱羧酶（glutamic acid decarboxylase，GAD）作用下脱羧而成，脑内的 GABA 主要集中在灰质中，在神经元胞浆中含量很高，可直接从胞浆释放而发挥作用，电镜观察发现 GABA 可能储存在扁平型的突触小泡内。释放出的 GABA 可降解成琥珀酸参加三羧酸循环或被重摄取而终止突触传递。

2. GABA 神经元的位置　GABA 主要分布于脑内，外周神经及其他组织中较少。其主要分布于：①大脑：视皮质、感觉运动皮质及枕叶；尾状核、壳核、苍白球、伏核及杏仁核。②间脑：丘脑网状核，内外侧膝状体、未定带、下丘脑的乳头体及弓状核。③脑干：中缝核、黑质、顶盖前区、中脑网状结构、脚间核、孤束核、前庭内侧核等。④脊髓：GABA 阳性神经元的胞体存在于除脊髓Ⅸ层以外的整个灰质。

3. GABA 的受体　根据受体对激动剂和拮抗剂的敏感性，将 GABA 受体主要分为 A 型和 B 型两类，GABA A 型受体的效应可被荷包牡丹碱（Bic）阻断，GABA A 型受体是化学门控通道类受体，可不经过第二信使系统，直接引发跨膜的离子通道，传递信息，它分布于整个神经系统。A 受体主要介导突触后抑制。GABA B 型受体也分布于整个神经系统，多数脑区 A 型受体多于 B 型受体，在小脑的分子层及中脑的脚间核主要为 B 受体，B 受体主要分布在突触前末梢，但也有分布在突触后膜或非突触部位，在脊髓背角主要分布在细纤维传入的终止区，B 受体主要介导突触前抑制。

4. GABA 的主要生理功能　GABA 对神经系统的神经元具有普遍的抑制作用，在兴奋抑制调节中起重要作用。另外 GABA 抗焦虑、抗惊厥和镇痛作用，也对内分泌有调节作用。

第二节　神经调质

一、概述

1. 神经调质的概念　神经调质（neuromodulator）是神经元所产生的另一类化学物质，它本身并不能直接通过突触进行信息传递，只能间接调节递质在突触前末梢的释放及其基础活动水平，增强或削弱递质的效应，从而对递质的作用进行调节。但有时神经递质和神经调质在功能上不能完全区分，有一些神经活性物质既有神经调质的作用，也具有神经递质的功能。

2. 主要神经调质的分类

- 神经调质
  - 神经肽
    - 速激肽：P 物质
    - 内阿片肽：脑啡肽、β - 内啡肽、强啡肽、孤啡肽
    - 胆囊收缩样肽：胆囊收缩素 - 8
    - 神经降压素
    - 降钙素基因相关肽
    - 生长抑素
    - 血管活性肠肽
    - 神经肽 Y
    - 加压素和催产素
    - 促肾上腺皮质激素
  - 一氧化氮
  - 其他

二、主要的神经肽

随着神经科学的发展，已发现了数以百计的神经肽，它们有的已被确认为神经递质，有的具有神经递质和神经调质的功能，参与了机体一系列的功能活动，它们的作用越来越被人们所重视。

（一）神经肽的概述

神经肽类活性物质与经典的神经递质有着不同的性质和特点。

神经肽广泛存在于神经组织或非神经组织中，但中枢神经系统中肽类的含量比经典递质浓度低数个数量级。神经肽类物质可以和经典的神经递质共存。

神经肽类活性物质均由多个氨基酸组成（包含 3 ~ 30 个以上），分子量一般在 3000 或 3000 以上，属于大分子物质；而经典的递质的分子量比较小（约 200）。

神经肽的合成与经典的递质不同，它不是在神经末梢内合成，而是在胞体核糖体合成前体大分子，然后由酶切等翻译加工后形成有活性的神经肽。神经肽大都贮存于大的致密芯囊泡内（直径 >70nm），而经典的递质可位于透明的突触小泡、小的突触囊泡（直径 30 ~

40nm）和大致密芯囊泡内。

神经肽不仅可经过突触部位释放，也可在非突触部位通过胞吐的方式释放，弥散到邻近的细胞，即旁分泌。

神经肽的释放是间歇性的，释放后被各种肽酶（例如氨肽酶、羧肽酶等）所降解、失活，但其速度较慢，故其效应维持时间较长，经典神经递质释放是连续不断的，释放后很快被酶作用失活或再摄取。

总之，神经肽是与经典神经递质不同的神经活性物质，它在分子结构、合成、贮存、释放、效应等方面都具有较显著的特点，从而决定它参入机体广泛而复杂的机能活动。下面介绍主要的神经肽。

（二）P 物质（substance P，SP）

P 物质是在 1931 年由 von Euler 发现的第一个神经肽，它是从马脑和小肠的提取物中获得的，称之为 P 物质。后被证明广泛分布于神经系统和周围组织内。在 20 世纪 70 年代，被分离提纯，并确定其结构为 11 肽，其氨基酸序列为：H－精－脯－赖－脯－谷－谷－苯丙－苯丙－甘－亮－甲硫－NH_2。SP 和其他神经肽一样是在细胞体合成的。

1. SP 的分布　SP 在中枢神经系统的含量各脑区差别较大。在哺乳动物中黑质、脑干和下丘脑、脊髓后角的含量较高，大脑皮质的含量相对较少，小脑内 SP 的含量非常低，甚至没有。

SP 的阳性纤维及终末端可分布在苍白球、杏仁核、终纹床核、隔核、下丘脑前核、弓状核、外侧缰核、中脑黑质、脚间核、中央灰质、三叉神经脊束核、背侧臂旁核、孤束核和脊髓后角等处，在交感神经节内也分布着 SP 纤维，目前认为绝大部分外周神经都含有 SP 纤维分布于周围器官（但视网膜等处除外）。

2. 主要的 SP 纤维通路　包括纹状体、苍白球→黑质通路；杏仁核→终纹床核→下丘脑通路；下丘脑→垂体通路；缰核→脚间核通路；中缝核→脊髓通路；SP 一级感觉纤维通路等。

3. SP 受体（SPR）　SP 释放后通过和 SP 受体结合发挥生物效应，SP 受体目前已确定了 3 类受体，即速激肽 1 受体（NK－1）、速激肽 2 受体（NK－2）、速激肽 3 受体（NK－3）。它们由 350～500 个氨基酸残基所组成。免疫组织化学方法发现：SP 受体广泛存在于大鼠的中枢神经系统及周围组织的黏膜上。

4. P 物质的主要生理功能　P 物质是所有神经肽中研究最为深入的一种，它被认为是一种神经递质已经为广大研究者所接受。它可作为一种外周致痛物质，参与疼痛过程，SP 也作为一级感觉神经元的递质，参与了周围伤害性刺激向中枢的传递和痛觉调制；SP 还参与了运动功能的调节和学习记忆过程。

（三）内阿片肽

在神经系统内具有阿片样作用的肽类物质，统称为内源性阿片样物质，又称内阿片肽（endogenous opioid peptides）。目前已发现近 20 多种阿片肽，主要包括四大类：脑啡肽、内啡肽、强啡肽和孤啡肽。这四类阿片肽来自不同家族，其大小相差悬殊，从 5 个氨基酸的脑啡肽直到 31 个氨基酸的 β－内啡肽，但在化学结构上都含有 5 个相同的氨基酸序列，其序

列为酪-甘-甘-苯丙-甲硫（亮），这一序列是阿片肽家族的标志，也是它们与阿片受体结合及表现阿片样活性所必需的。1997 年，Zadina 又发现了一种由 4 个氨基酸残基组成的肽-内吗啡肽，它是对 μ 受体亲和力和选择性最高的专一性配体。

1. 脑啡肽（enkephalin，Enk） Hughes 在 1975 年首先从猪的脑内分离到两个具有吗啡样作用的5肽，即甲硫氨酸-脑啡肽（简称甲啡肽，met - enkephalin，M-Enk）和亮氨酸-脑啡肽（简称亮啡肽，leu - enkephalin，L-Enk），排列顺序分别为 H-酪-甘-甘-苯丙-甲硫-OH 和 H-酪-甘-甘-苯丙-亮-OH 。其前体为含 263 个氨基酸的前脑啡肽。

（1）脑啡肽胞体在神经系统的分布

①在中枢神经系统：脑啡肽神经元的胞体分布于大脑、间脑和脑干广泛区域。放射免疫分析方法发现脑啡肽在尾壳核、苍白球、杏仁核、内侧视前核和黑质含量较高。免疫组化技术显示两种脑啡肽在脑内有相似的分布。一般甲啡肽在组织中的浓度比亮啡肽高 3~4 倍。

②在周围神经系统：在脊神经节内有少量的 L-ENK 阳性胞体分布。交感神经节、整个胃肠道的肌间丛和黏膜下丛的神经细胞都含脑啡肽，胃肠道黏膜内的某些内分泌细胞也含有脑啡肽。

③肾上腺髓质内有脑啡肽阳性胞体，肾上腺髓质是合成脑啡肽前体的重要部位之一。在此，脑啡肽与去甲肾上腺素可在同一细胞内共存。

虽然甲啡肽和亮啡肽在神经系统内的分布类型相似，但它们并非共存于同一细胞，而是存在于不同的神经元内。

（2）脑啡肽能神经元在中枢的纤维联系　主要包括①下丘脑-垂体径路；②杏仁-终纹间质核径路；③纹状体-苍白球径路；④脑桥被盖-脊髓径路；⑤延髓-脊髓径路等。

2. β-内啡肽（β-endophin，β-EP） 是 1976 从猪垂体中分离出的 31 肽，它的前体包含 265 个氨基酸的糖蛋白——前阿黑皮素（POMC）。POMC 同时还是几种很明确的非阿片肽的前体，其中包括促肾上腺皮质激素（ACTH），α-、β-、γ-黑色素细胞刺激素（α-、β-、γ-MSH），β-脂酸释放激素（β-LPH），这些物质都参与了机体的应激反应，因此提示 β-内啡肽可能也有此作用。

（1）β-内啡肽细胞的位置　免疫组化研究发现 β-内啡肽的阳性胞体主要分布于垂体、下丘脑内侧基底部，特别是弓状核，此外还有孤束核的下端。

在大鼠的垂体中，β-EP 样物质存在于中间叶的全部细胞和前叶的部分细胞，后叶没有发现其阳性物质。

（2）β-内啡肽的纤维联系　β-EP 阳性神经元的投射较广泛，因此其阳性纤维和终末端在神经系统分布较广泛，主要包括：①自弓状核向边缘系统的投射；②自弓状核向下丘脑的投射；③弓状核发出，通过丘脑背侧→中脑导水管腹侧→脑干与伤害性刺激传递及镇痛有关的核团。

3. 强啡肽（dynorphin，DYN） 首先是从猪的垂体中分离出来的，后来在中枢神经、周围神经和肠内也分离出来。强啡肽的前体为前强啡肽原，以牛下丘脑组织中的 mRNA 为来源获得的此种前体含 256 个氨基酸。其降解产物包括强啡肽 A、强啡肽 B 和 α-新内啡肽。三种强啡肽都是独立存在的生物活性物质，强啡肽 A 为 17 肽，强啡肽 B 为 13 肽，Wat-

son（1983）发现三种肽可在若干核团内出现在同一神经元内，但也有人证明这三种肽分布区域各不相同。

（1）强啡肽阳性神经元胞体的位置　强啡肽阳性神经元的胞体可见于尾壳核、杏仁核、海马、视上核、室旁核、下丘脑背内侧核、腹内侧核、弓状核、下丘脑外侧区、终纹床核、中脑中央灰质、臂旁核、三叉神经脊束核和中脑核、孤束核、薄束核、楔束核、延髓外侧网状结构及脊髓背角。在大脑皮质的各叶和垂体前叶也有散在的阳性胞体。脊神经节内含有DYN阳性胞体。

（2）强啡肽神经元的纤维联系　主要包括①纹状体－黑质通路；②杏仁核－黑质和腹侧背盖区纤维；③腹侧纹状体－苍白球通路；④中脑－丘脑投射；⑤室旁核、视上核－正中隆起和垂体的投射等。

4. 孤啡肽（orphanin FQ，OFQ）　是一种在结构和功能上与已知阿片肽有所不同的全新的神经肽。20世纪90年代初期，在克隆阿片受体的研究中发现一种新的阿片受体分子克隆体，该受体和已知的阿片受体有较高的同源性，但它与已知阿片受体的特异性配体亲和性很低，因当时不知这种受体真正的配体及其功能，故称Orphan（孤儿）受体。1995年Meunier等和Reinscheid等分别从大鼠和猪脑中分离出该受体的内源性配体，它是17个氨基酸的多肽，命名为孤啡肽。其第一个氨基酸为苯丙氨酸（F），末一个氨基酸是谷氨酸（Q），因此称为OFQ。在结构上，与强啡肽较相似。新近采用免疫组化和原位杂交方法，发现孤啡肽及其前体mRNA在中枢神经系统有广泛的分布与表达。但其纤维联系不详。

5. 内阿片肽受体

（1）阿片受体的分型　在1973年，人们在哺乳动物脑中找到了能与阿片样物质结合并产生其效应的特定分子，即阿片受体。1976年，Martin等将阿片受体分为μ、δ、κ三个亚型，后又发现一种ε型受体，对β－EP有特殊的亲和性。各型阿片受体具有多源性，μ受体可能分μ_1、μ_2亚型，κ受体至少有κ_1、κ_2、κ_3三个亚型，δ受体也可能包含δ_1、δ_2型。

（2）内源性阿片肽与阿片受体的亲和性　内阿片肽对不同阿片肽受体有一定的选择性，但与三型受体之间却没有严格的对应关系。β－内啡肽与μ、δ受体均有很高的亲和力，脑啡肽则更倾向于选择δ受体。强啡肽曾被认为是κ受体选择性的配体，但它与μ及δ受体也有一定的亲和力。孤儿阿片样受体表现出δ、μ、κ受体的结构特征。μ受体的内源性配体为内－吗啡肽。

（3）阿片受体的分布　用放射受体分析方法发现，各脑区阿片肽与受体的分布基本上平行，如二者在边缘系统及纹状体都较多，在白质及小脑最少。

有实验已证明阿片受体不仅分布在中枢神经系统，也分布在外周组织。最近用免疫组化技术发现，μ、δ阿片受体在许多背根神经节小细胞和一些中等大小的细胞中表达，在周围神经、巨噬细胞以及白细胞上也有阿片受体存在。

6. 内阿片肽的主要生理功能　内源性阿片肽是机体重要的镇痛物质，许多实验已证明电针能激活内源性阿片肽系统，引起神经系统内一些核团释放阿片肽，产生镇痛作用。但关于孤啡肽对机体疼痛的影响研究结果有一定的差别，有的发现孤啡肽可增加动物的痛觉过敏，有的发现可使痛阈提高，有的却发现对痛阈无影响。大部分的研究发现孤啡肽可对抗吗

啡或电针镇痛。

另外，内阿片肽参与了机体心血管、胃肠道和肾脏功能的调节，也具有调节呼吸和体温的功能等。

（四）胆囊收缩素

1928年，胆囊收缩素（cholecystokinin，CCK）首先在狗的小肠中被发现，因具有收缩胆囊的功能故取名为胆囊收缩素。后分别被从猪小肠组织和羊脑中提取出来，并发现CCK在脑中含量较多，它是最早被认识的脑－肠肽之一。

CCK前体含130个氨基酸，可裂解为CCK－39、CCK－33、CCK－12、CCK－8和CCK－4。CCK－8与八肽胃泌素结构相似，二者在C端有5个氨基酸完全相同，它们之间存在着交叉反应。CCK几乎分布于整个神经系统，而胃泌素仅仅发现于垂体和下丘脑。

1. 胆囊收缩素的分布 在中枢神经系统内，CCK主要广泛分布于除小脑以外的大部分区域，其中以大脑皮质含量最高。在周围神经的脊神经节内有阳性CCK胞体，并与SP共存，在脊神经节内、迷走神经、腹腔－肠系膜上神经节内均可见CCK的阳性纤维。

2. 胆囊收缩素的受体 CCK受体包括CCKA和CCKB两型受体。另外还有胃泌素受体，其性质与CCKB受体相似。CCKA受体是外周受体，而CCKB是中枢受体。也有发现CCKA受体少量存在于中枢，CCKB受体也少量存在于外周。

3. 胆囊收缩素的主要生理功能 胆囊收缩素对中枢神经系统有兴奋作用，也与锥体外系的活动有关。它参与了躯体和内脏感觉的传导以及痛觉的调制，可对抗吗啡和电针的镇痛作用并与吗啡和电针耐受有关。

（五）神经降压素

1973年，Crraway和Leeman从牛的下丘脑中提出来的一种肽，此肽广泛分布于哺乳动物的中枢和周围神经系统，具有降低血管张力的作用，故名为神经降压素（neurotensin，NT）。NT是由13个氨基酸组成，从哺乳类动物提取的NT氨基酸序列为H－焦谷－亮－酪－谷－门酰－赖－脯－精－精－脯－酪－异亮－亮－OH。

1. NT的分布 在端脑的嗅球、隔核、杏仁核含有较多的阳性胞体和较密的阳性纤维；下丘脑是NT的高度集中区，从嘴侧的视前室周核至尾侧的弓状核和室旁核都含有阳性胞体；丘脑的内、外侧缰核内可见到少量的阳性纤维；在中脑的中央灰质、中缝背核、臂旁核的外侧部、孤束核、疑核、最后区和三叉神经脊束核的胶状质内含有NT的阳性胞体及阳性纤维。在脊髓，NT胞体分布于脊髓后角Ⅰ、Ⅱ层，而大部分位于Ⅱ层的内侧部，只在中央管周围有少量的NT纤维。

2. NT的纤维投射 主要包括以下途径：杏仁－终纹床核径路；杏仁中央核－脑干径路；杏仁内侧核－下丘脑径路；梨状皮质－丘脑径路；纹状体－苍白球、腹侧中脑径路等。

3. NT的受体 NT的受体可分为高亲和力和低亲和力两种，前者对拮抗剂SR48692敏感，后者对抗组胺（levocarbastine）敏感，两种受体均已被克隆。

4. NT的主要生理功能 NT可能参与脊髓内的伤害刺激调制、中枢镇痛及电针镇痛，

并具有降低血压和升高血糖的作用。另外，NT 可镇静和降低机体的体温，它也参与调节胆碱能神经元的活动。

（六）降钙素基因相关肽

降钙素基因相关肽（calcitonin gene related peptide，CGRP）是含 37 个氨基酸的多肽。

1. CGRP 的分布 在中枢神经系统内，CGRP 神经元的胞体位于脊髓前角、疑核嘴侧部、面神经核、舌下神经核、臂旁核和脚周核，在此 CGRP 与 ACh 共存。在周围神经系统，CGRP 的胞体位于三叉神经节和脊神经节的小细胞内，也可存在于大、中细胞内，其数量较含 SP 的细胞多。在结状神经节内也含有 CGRP 的胞体。在脊神经节和结状神经节内，CGRP 与 SP 共存于一个神经元内。在肾上腺髓质和胰岛周围也含 CGRP 的细胞，但甲状腺内无 CGRP 细胞。

CGRP 阳性纤维和末梢见于三叉神经脊束核、孤束核、脊髓胶状质，还见于中央杏仁核、尾壳核、苍白球、嗅神经、前庭蜗神经及交感神经节内。CGRP 纤维还分布于心、肺、胃肠道的血管壁内。

2. CGRP 的主要生理功能 CGRP 有强大的扩血管作用。也可通过第三脑室注射抑制胃酸分泌。CGRP 参与了疼痛的调制过程，它可在多个环节协同 SP 的作用，参与疼痛的传递和调节。

（七）生长抑素

最初，生长抑素（somatostatin，SS）是从下丘脑提取和分离出来的，由于它能对垂体前叶的生长激素有强烈的抑制作用而命名。SS 广泛分布于中枢和周围神经系统、胃肠道黏膜、胰及泌尿器官。其生理作用已远远超过它的名称所限定的范围，它不仅是一种内分泌激素，也是神经系统的一种神经递质或神经调制物。

1. SS 的分布 放射免疫结果表明，在中枢神经系统内，SS 在下丘脑的浓度最高，也有相当量见于隔区、中脑、脑干、大脑皮质和脊髓。在周围神经系统中，脊神经节、三叉神经节、交感神经的椎前神经节内含 SS 阳性胞体；在结状神经节周围可见 SS 的阳性纤维。许多实验结果表明，在神经系统内，生长抑素一般是与其他递质或神经肽共存于神经元内，如 SS 与 VIP、SS 与脑啡肽、SS 与 P 物质、SS 与 NPY、SS 与 5－HT 等。

2. SS 受体 生长抑素受体有两类即 $SSTr_1$ 和 $SSTr_2$。新近的研究表明至少有 5 种不同的生长抑素受体亚型，即 $SSTr_{1-5}$。

3. SS 的主要生理功能 SS 可对认知功能产生影响，可对中枢神经系统和内分泌活动有抑制作用。关于生长抑素参与疼痛调节的报道说法不一，有观点认为 SS 参与伤害性刺激的传导过程，有人认为生长抑素参与了机体的镇痛过程，还有人认为生长抑素与疼痛的传导无关。

（八）血管活性肠肽

血管活性肠肽（vasoactive intestinal peptide，VIP）是由 28 个氨基酸组成的直链多肽。它除存在于神经系统外，也分布于呼吸系统、心血管系统。

1. VIP 胞体的中枢定位 VIP 神经元胞体主要存在于大脑新皮质、梨状皮质、扣带皮

质、嗅前核和嗅结节、背侧内嗅皮质，也存在于海马、屏状核、杏仁核、终纹床核、下丘脑视上核和中脑中央灰质。

2. VIP 的纤维联系 在大脑新皮质发 VIP 的细胞主要是由中间神经元参与形成局部回路。其他 VIP 纤维联系包括杏仁核 - 下丘脑之间的双向投射；下丘脑视上核的胞体发出纤维至下丘脑室旁核、背内侧核、腹内侧核等；中脑 - 边缘系统等通路。

3. VIP 的主要生理功能 VIP 已基本被公认为神经系统的一种递质，它可以调节神经内分泌的功能。可扩张血管，还具有抑制胃酸和促胃液素的分泌等作用。

（九）神经肽 Y

神经肽 Y（neuropeptide Y，NPY）最初是从猪脑中分离出的一个 36 酰肽胺，N 端为酪氨酸，C 端为酪酰胺的多肽，其结构与多肽酰胺中的多酪肽（PYY）非常相似。神经肽 Y 被合成后在外周神经中与儿茶酚胺类递质共同贮存于相同的囊泡中。

1. 神经肽 Y 胞体的中枢定位和纤维投射 神经肽 Y 的阳性胞体在中枢主要分布于嗅脑的嗅球、嗅前核、嗅结节，端脑的大脑皮质、尾壳核、伏核、海马、终纹床核和杏仁复合体，下丘脑的弓状核、外侧膝状体等，脑干的网状结构等。

神经肽 Y 的中枢通路主要包括：弓状核 - 内侧视前区和下丘脑纤维；外侧膝状体 - 交叉上核纤维；腹侧背盖区 - 交叉上核纤维等。

2. 神经肽 Y 的中枢受体 目前研究证明 NPY 至少有 3 种亚型的受体，分别为 Y_1 型、Y_2 型和 Y_3 型。

3. 神经肽 Y 的主要生理功能 神经肽 Y 可以调节下丘脑的内分泌功能；还对下丘脑的摄食功能、生物钟节律以及边缘系统的情绪整合功能起调控作用；它还有解焦虑和镇静等作用。

（十）加压素和催产素

加压素（vasopressin，VAP）、催产素（oxytocin，OXT）属于神经垂体肽，它们是最早从垂体后叶分离和提纯的肽类激素。它们一般和相应的载体 - 神经垂体素（neurophysin，NP）结合在一起存在。加压素和催产素都是 9 肽，其氨基酸序列分别为：VAP：H - 半胱 - 酪 - 苯丙 - 谷氨酰胺 - 天冬 - 半胱 - 脯 - 精 - 甘 - NH_2；OXT：H - 半胱 - 酪 - 异亮 - 谷氨酰胺 - 天冬 - 半胱 - 脯 - 亮 - 甘 - NH_2。

1. VAP 和 OXT 在神经系统的分布

（1）VAP 和 OXT 的胞体分布 免疫组化方法证明，两种神经垂体肽都存在于视上核和室旁核的不同细胞内，OXT 神经元胞体还存在于下丘脑的视前区、前连合核、前部室周区；VAP 神经元胞体还存在于内外侧隔核、终纹床核、视交叉上核、下丘脑后区、杏仁内侧核和脑干蓝斑核；另外在下丘脑前区中部含有 VAP 和 OXT 神经元胞体。

（2）VAP 和 OXT 纤维和末梢的分布 VAP 在大脑和间脑内分布较 OXT 广泛，其 VAP 纤维在外侧隔核、丘脑室周核和背内侧部、外侧缰核和下丘脑后室周区较密致，在斜带核、下丘脑前区、杏仁核也有 VAP 的阳性纤维，在内侧隔核、终纹床核、海马和内嗅区皮质内有极少量的 VAP 纤维；仅在杏仁核、海马、内嗅区皮质和丘脑的室周核和背内侧核内见到

极少量的 OXT 阳性纤维。在脑干内两种神经垂体肽阳性纤维的分布范围基本相似，可见于中脑中央灰质、黑质致密带、中缝核、被盖外侧网状结构、臂旁核、蓝斑、孤束核、迷走神经背核、外侧网状核、三叉神经脊束核胶状质。在大部分核团内它们的阳性纤维密度都较稀疏，在孤束核、迷走神经背核、臂旁核内 OXT 阳性纤维较密。

在脊髓内它们的阳性纤维可见于 Ⅰ 层、Ⅱ 层和 X 层及中间外侧核。其内 VAP 的阳性纤维较少，而 OXT 的阳性纤维相对较多些。

2. VAP 和 OXT 的受体　加压素受体可分为 V_1 和 V_2 两种类型。V_1 型受体主要分布在血管平滑肌、肝细胞和血小板；V_2 型受体主要分布在肾脏远曲小管和集合管。

不同的组织内存在催产素的特异性受体。在子宫和乳腺组织内的催产素受体为子宫型催产素受体；在中枢神经系统内也存在前催产素受体。

3. VAP 和 OXT 的生理功能　加压素除经典的抗利尿作用外，在神经系统表现为可增强记忆的保持和镇痛等作用。

催产素除传统的刺激子宫收缩和排乳作用外，也可经中枢发挥作用，如对心血管功能、胃的运动和分泌、体温和水盐代谢等有调节作用；也可参与镇痛过程，但其机制可能和阿片肽有关。

三、一氧化氮

一氧化氮（NO）是一无机气体分子，性质活泼，半衰期仅几秒钟（约 2 ~ 5 秒）。自 1987 年 Palmer 等首次证明血管内皮细胞可产生 NO 以来，已经发现在哺乳动物体内，除血管内皮细胞外，还有许多部位如神经系统的神经元、神经胶质细胞、炎症免疫细胞、巨噬细胞和中性粒细胞等均能合成 NO。许多证据表明它是不同于传统递质的一种“气体性”信使分子。它既参与神经细胞间的信息传递过程，又参与多种神经系统疾病的病理过程。NO 在痛觉传递和调制中也起重要的作用。

1. 一氧化氮合酶的性质　一氧化氮在体内由一氧化氮合酶（Nitric Oxide Synthase，NOS）催化 L－精氨酸（L－Arg）产生 NO 及瓜氨酸，瓜氨酸又可进一步代谢生成精氨酸。

一氧化氮合酶为一同功酶，近年来有三种 NOS 亚型被发现和克隆出来，它们是神经型 NOS（c/nNOS，NOS_1）、诱导型 NOS（iNOS，NOS_2）和内皮细胞型 NOS（eNOS，NOS_3），这三种亚型的 NOS 在来源、结构、分布、作用方式和功能上均具有一定的差异。NOS_1 主要产生于神经元，以单体发挥作用，具有钙离子/钙调蛋白依赖性，不被 L－刀豆氨酸抑制，在 ACh、缓激肽、血管紧张素Ⅱ等或物理性刺激时，立即释放 NO，参与信息传递；NOS_2 主要存在于胶质细胞和巨噬细胞内，以二聚体形式发挥作用，它不需要细胞内钙离子作为信号，而是由内毒素和半胱氨酸所诱导，可被 L－刀豆氨酸抑制，此酶一经诱生，可持续合成 NO，直至底物耗竭或细胞死亡；NOS_3 与 NOS_1 的氨基酸有 57% 相同，它们的功能特征相似，心血管系统内 NO 主要由 NOS_3 参与产生。

各类 NOS 也有其共同的特征，它们均需要共因子——还原性辅酶Ⅱ（NADPH）、四氢生物蝶呤和吖黄素（黄素单核苷酸和黄素腺嘌呤二核苷酸），这也是在形态学研究方面人们用还原型辅酶Ⅱ依赖性黄递酶（NADPH－d）组织化学染色方法表示NOS位置的依据。各类

酶均位于胞浆内，并且都需要 L - 精氨酸和分子氧作为底物。

由于 NO 是性质活泼的气体，因此人们多通过 NOS 合酶来反映 NO 的合成部位和含量。目前，在形态学的研究方面，除用 NADPH - d 组织化学染色方法，反映 NOS 的位置外，由于 NOS 已被克隆，也可用免疫组织化学的方法较直接地显示 NOS 的定位，以及用原位杂交方法显示 NOS mRNA 的部位。

2. 一氧化氮合酶在神经系统的分布 NOS 在脑内的含量以小脑和嗅脑最高，其次是上丘、下丘、齿状回、终纹、海马锥体细胞、大脑皮层，在垂体后叶、下丘脑视上核和室旁核也有分布，以脑干的含量最低。

端脑：大脑新皮质和扣带回都有 NOS 的阳性胞体，也有中等密度的纤维网贯穿新皮层，在深层，尤其是第Ⅳ层和皮层下白质，可见很致密的强染色纤维。新纹状体各部均含有 NOS 阳性胞体和纤维，伏核、杏仁核含较多的 NOS 阳性神经元和较密的 NOS 纤维网。嗅前核、内侧隔核、外侧隔核、斜角带核、终纹床核及穹隆下器也有 NOS 阳性胞体。海马内也可见 NOS 阳性细胞和纤维。

间脑：下丘脑内侧区的视上核、腹内侧核、隔下丘脑核、室周核、背内侧核等处可见 NOS 阳性神经元，视前区、腹内侧核、前连合核、视上交叉处有 NOS 的阳性纤维，乳头体内含有 NOS 阳性神经元和致密的阳性纤维。

丘脑的室旁核、中央中核、交叉前核、视束核、板内核、顶盖前核、未定带等处可见 NOS 阳性胞体。底丘脑核 NOS 染色非常弱，周围有中等致密的纤维网。

脑内的阳性纤维除见于上述各处外，还见于前腹侧核、丘脑网状核、中央外层核、菱形核、束旁核、背外侧核、外髓板、听辐射、外侧缰核、缰连合、后屈束和后连合等处。

脑干：中脑的上丘和下丘、束间核、中缝核含有阳性的 NOS 胞体和纤维，黑质内有稀疏的阳性纤维网。脑桥的被盖核和被盖外侧核可见较强反应的 NOS 细胞和中等密度的阳性纤维。延髓的中缝核群、外侧旁巨细胞核、中央网状核、孤束核、连合核、薄束核、三叉神经脊束核的胶状质等都含有 NOS 的阳性细胞和纤维。

脊髓：NOS 阳性标记的神经元见于脊髓背角的Ⅰ～Ⅳ、Ⅵ、Ⅹ层。其阳性纤维粗细不等，后角浅层较密致，在脊髓白质和其他灰质板层内数量甚少。

周围神经系统：在脊神经节和三叉神经节中可见中、小型的 NOS 阳性细胞，占脊神经节神经元总数的 10% 左右，神经纤维反应不明显。在自主神经丛的神经纤维、小肠的肠肌丛的胞体和神经纤维均可见 NOS 阳性。

3. 一氧化氮的主要生物作用 在心血管系统中，内皮细胞产生的 NO 可使血管平滑肌松弛。NO 也参与机体免疫功能的调节。NO 在神经系统的活动中起重要的作用，它可参与痛觉的调制，研究表明 NO 从外周至中枢的多个部位参与了对伤害性刺激的传递和调制过程，其作用较复杂，可通过不同的环节参与致痛和镇痛两个方面的效应。另外 NO 还具有神经毒性作用。

第三节　神经营养物质

一、概述

（一）神经营养物质的概念

神经营养物质（neurotrophic substance）是指一组除普通维持生存所必需的基本营养物质以外对神经元起特殊营养作用的因子。它是能支持神经元生存和诱导神经突起生长的化学物质；是能保障神经元存活、迁移、分化、生长或与其他细胞建立功能性联系的依赖因子；也是发育成熟神经元发挥功能的调控因子；甚至是在神经元损伤后或某些神经系统疾病时能保护其存活和促进其再生的必需因子。它是由靶细胞产生的蛋白质，具有神经营养活性。因此，也称神经营养因子（neurotrophic factors，NTFs）或神经细胞营养因子（neuronotrophic factors）

（二）主要神经营养物质的分类

神经营养物质
- 神经营养素家族：神经生长因子、脑源性神经营养因子、神经营养素 -3、4/5、6、7
- 睫状节神经营养因子
- 成纤维细胞生长因子
- 胰岛素样生长因子

二、神经营养素家族

神经营养素（Neurotrophin，NT）是一类分泌蛋白质，有着相当高的序列同源性，现已知有六个神经营养素家族成员，此家族包括神经生长因子（NGF）、脑源性神经营养因子（BDNF）、神经营养因子 3（NT－3）、神经营养因子 4/5（NT－4/5）、神经营养因子 6（NT－6）和神经因子 7（NT－7）。

NT 受体分两类：第一类是 P75 受体，是肿瘤坏死因子受体超家族中的成员，为单次跨膜受体；第二类是 Trk 受体家族，也为单次跨膜，能与特定的 NT 以极高的亲和力结合。Trk 受体家族包括：TrkA、Trkb 和 TrkC。一般 NT 发挥生物效应主要依赖于 Trk 受体进行信号传导。

（一）神经生长因子

1. 神经生长因子的分布　神经生长因子（nerve growth factor，NGF）在中枢主要存在于大脑皮层、嗅球、海马、杏仁体、纹状体、丘脑、下丘脑、脑干和脊髓等部。已发现大部分胆碱能神经元为 NGF 阳性神经元；NGF 还广泛分布于非神经系统的器官和组织，如颌下腺、前列腺等。

2. 神经生长因子的主要生物功能　NGF 发挥生物效应是通过受体 TrkA 实现的，对

NGF 起反应的神经元主要是交感神经元、某些感觉神经元和中枢胆碱能神经元等。NGF 由这些神经元的靶组织产生，被神经元轴突末梢摄取，逆行运输到胞体，以维持这些神经元的存活，因此是典型的靶源性神经营养因子（target - derived survived factor）。

NGF 能促进外周感觉神经元和交感神经元的分化和成熟，诱导和调节组织末梢的生长与分布，也能影响中枢神经系统的生长发育，还有促进神经组织修复和再生的作用。另外，神经生长因子可参与诱导痛觉过敏，还可能通过促进 C 纤维中枢端的末梢释放 P 物质和 CGRP，导致脊髓背角痛敏神经元紧张性易化，即中枢敏感化导致迟发性过敏。

（二）脑源性神经生长因子

1. 脑源性神经生长因子的分布 脑源性神经生长因子（brain - derived neurotrophic factor，BDNF，NT - 2）是脑中含量最多的神经营养因子，BDNF 的氨基酸序列有 50% ~60% 与 NGF 相同。

BDNF 广泛分布于神经系统，除海马神经元外，还分布于感觉神经元、视网膜节细胞、脊髓运动神经元、面神经核、基底前脑胆碱能神经元以及黑质的神经元等。

2. 脑源性神经生长因子的主要生物功能 BDNF 能维持对 NGF 无反应的感觉神经元的存活，而且能促进多巴胺神经元的存活和分化；对运动神经元有营养作用；BDNF 可支持基底前脑胆碱能神经元存活和生长。

三、睫状节神经营养因子

睫状节神经营养因子（ciliary neurotrophic factor，CNTF）最早是从鸡胚胎眼组织中分离出来的一种特异蛋白质，因有支持体外培养的鸡副交感睫状神经节神经元的生存而得名。CNTF 有 200 多个氨基酸，属于胞内蛋白质。已证明 CNTF 的分子结构和生物学活性与 NGF 不同，不属 NT 家族。

1. 睫状节神经营养因子的分布 CNTF 的阳性细胞在中枢主要分布于大脑皮质、嗅球、脑干、下丘脑、纹状体、小脑皮质和脊髓的运动神经元等；在周围神经系统主要分布在视神经、坐骨神经和睫状神经节等；在其他组织，如脉络膜、虹膜和睫状肌中含量丰富。

2. 睫状节神经营养因子受体 睫状节神经营养因子受体（CNTF receptor）其性质不同于神经营养素家族受体，其信号转导是通过在其反应细胞上的 CNTF 受体复合物实现的，它具有同族成员相同受体成分，由特异成分 CNTF 受体 α（CNTFRα）、白血病抑制因子受体 β（leukemia inhibitory factor receptorβ，LIFRβ）、gp130 Jak - Tyk（Janus kinase - Tyrosine kinase）家族共同组成。CNTFRα 是 CNTF 的特异结合蛋白质，主要在神经组织中表达。

3. 睫状节神经营养因子的主要生物功能 CNTF 能够促进背根节感觉神经元、睫状神经节神经元、脊髓运动神经元、交感节前和节后神经元、海马神经元等的存活。此外，CNTF 对一些非神经细胞也有营养及促分化的作用。

四、胶质细胞系源性神经营养因子

胶质细胞系源性神经营养因子（glial cell line - derived neurotrophic factor，GDNF）开始是从鼠胶质细胞株 B49 的条件培养基中分离纯化获得的一种神经营养因子，由此而得名。

GDNF是一个糖基化的二硫键连接的同源二聚体蛋白质，GDNF先合成前体蛋白，加工处理后才形成分泌型的成熟蛋白，它有134个氨基酸。由于GDNF含有7个保守的半胱氨酸（Cys）残基，与转化生长因子-β（transforming growth factor-β，TGF-β）超家族成员相同，故GDNF被列入TGF-β家族的一员。

1. 胶质细胞系源性神经营养因子的分布　GDNF mRNA多表达在神经系统的多巴胺神经元投射区，与运动有关的无名质、小脑浦肯野细胞和三叉神经运动核以及与某些感觉有关的结构。在一些外周器官的发育形成中也可高表达GDNF mRNA，如松果体、肾、心、肺等脏器。

2. 胶质细胞系源性神经营养因子受体　胶质细胞系源性神经营养因子受体（GDNF receptor）是多成分复合物，由GDNFR-α和孤儿受体氨酸激酶c-Ret蛋白组识别并与之结合，Ret为GDNF的功能性受体，只有GDNFR-α和Ret同时存在，GDNF才能发挥作用。

3. 胶质细胞系源性神经营养因子的主要生物功能　胶质细胞系源性神经营养因子的主要作用方式是靶源性的，另外可能还有旁分泌和自分泌的作用方式。

GDNF可影响神经元的发育和分化，对交感神经元、感觉神经元以及多巴胺神经元有促存活作用，还具有对受损后的神经元有保护作用等功能。

五、成纤维细胞生长因子

1974年，在牛脑垂体的抽提物中发现的一种能明显促进BALB/C3T3等成纤维细胞分裂增殖的活性物质，称为成纤维细胞生长因子（fibroblast growth factor，FGF）。其后又发现了FGF的其他家族成员，其中含有较多酸性氨基酸碱基的FGF命名为酸性FGF（acidic FGF，aFGF）或FGF-1，而先发现的对酸和热敏感的FGF则称为碱性FGF（basic FGF，bFGF）或FGF-2，另外还发现了int-2、FGF-5、FGF-6（KGF/FGF-7）、hst-1/kfgf等9个成员共同组成了FGF家族（FGF family，FGFs）。目前已知的FGFs中只有aFGF、bFGF、FGF-5和FGF-9存在于中枢神经系统内。

1. 主要成纤维细胞生长因子的分布

（1）aFGF和bFGF的分布　它们大多在正常细胞内贮存。aFGF主要局限于感觉和运动神经元内。bFGF主要分布于垂体、脑、视网膜、肾上腺和胎盘等部位。在脑内bFGF主要在星形胶质细胞内表达，在脊髓，bFGF主要见于腰骶段的运动神经元和脊神经节细胞内。

（2）FGF-5的分布　它是转染C3T3成纤维细胞转化基因的蛋白产物。主要位于角膜及嗅觉系统的神经元内。

（3）FGF-9的分布　它是从胶质瘤细胞系的条件培养基中分离纯化得来的，故称为被释放的蛋白质。是体外培养星形胶质细胞的一种致有丝分裂原，在脑组织有低水平的FGF-9。

2. 成纤维细胞生长因子受体　成纤维细胞生长因子受体（FGF receptor，FGFR）有两类：一类是高亲和力受体，属跨膜性酪氨酸蛋白激酶（TPK）性受体，有酪氨酸激酶的活性，分为4型：FGFR-1/flg、FGFR-2/bek、FGFR-3/cek和FGFR-4。在中枢神经系统表达的主要是FGFR-1、2和3。另一类是低亲和力受体，即肝素样受体，是细胞表面上的

一种硫酸乙酰肝素蛋白多糖（heprin sulfate proteoglycan，HSPG）。低亲和力受体的作用是使FGF在细胞表面聚集，使其易于接近高亲和力受体。

3. 成纤维细胞生长因子的主要生物功能 FGF的作用大多来源于aFGF和bFGF的研究资料。它们对多种神经元有营养作用。bFGF也参与了神经元的保护和神经纤维的再生作用，并且能促进神经前体细胞和类神经元细胞分化。

六、胰岛素样生长因子

胰岛素样生长因子（insulin－like growth factor，IGF）最初是从人血浆分离出来的蛋白质，其结构与胰岛素原相似。IGF族有IGF－Ⅰ和IGF－Ⅱ两种。在血液或体液中的IGF与其载体蛋白IGF结合蛋白（IGF binding protein，IGFBP）结合形成复合物。IGF及其受体在发育的中枢神经系统分布广泛，脑、脑脊液和脉络丛中的IGF－ⅡmRNA含量较高。

1. 胰岛素样生长因子受体 IGF必须与IGFBP解离后与其特有受体结合才能发挥生物效应。IGF受体分两型，即IGF－Ⅰ受体（IGF－Ⅰ R）和IGF－Ⅱ受体（IGF－Ⅱ R），前者属酪氨酸激酶型受体，是由两个α亚基组成异源四聚体糖蛋白；后者没有氨酸激酶活性。

2. 胰岛素样生长因子的主要生物作用 IGF可能是中枢神经系统发育时期重要的自分泌和旁分泌信号分子。IGF－Ⅰ被认为是胶质祖细胞和少突胶质细胞的存活因子，IGF－Ⅰ和IGF－Ⅱ均可作为肌源性神经营养因子刺激肌内神经突起生长。

第十章　神经解剖学常用研究方法概要

神经解剖学的进展与神经解剖学研究方法的发展密不可分，神经解剖学研究方法在神经解剖学的发展中起到了重要作用。近十几年来，随着生命科学研究手段的不断更新，神经解剖学的研究方法也有了长足的进步。本章由于篇幅的限制，将扼要介绍研究神经解剖学主要的传统研究方法和近代研究方法。

第一节　传统研究方法

一、大体研究方法

（一）脑室铸型

脑室铸型是观察脑室的立体形态和各部之间的相互联系较好的方法。常用的铸型方法有塑料铸型法、立体重塑法和易熔合金铸型法。

1. 塑料铸型法　用高分子塑料树脂为填充剂，灌注脑室，从而形成脑室立体形态的方法，称脑室塑料铸型方法。常用灌注的填充剂有过氯乙烯、环氧树脂和自凝牙托粉等。上述铸型填充剂中，过氯乙烯属溶剂挥发成型法；环氧树脂和自凝牙托粉属化学反应成型法。

2. 立体重塑法　将脑按冠状切面切成5～6片后，把这些脑片置于重铬酸钾液内浸泡，使脑片进一步硬化。然后取出切好脑片，将其平置于玻璃板上，在脑室内用塑料、石膏或硬蜡填充剂填塞脑室，等到标本内填充剂硬化、凝固后取出铸型，依次结合，重塑成为完整的脑室系统的铸型。

3. 合金铸型法　是用配制的合金填充剂（多为铅、铋、锡、镉等金属混合融化在一起）灌注脑室后制作的脑室铸型标本的方法。

（二）标本塑化

标本塑化是一种先对标本脱水，然后利用高分子化合物对生物标本进行渗透、塑化，从而有利于标本保存和研究的一项新技术。

经塑化后，标本干燥，不存在经福尔马林浸泡后的潮湿或滴液，克服了学生不愿意直接触摸标本的现象；标本塑化后，无味无毒，改变了使用福尔马林后的刺鼻气味和对人体的毒性作用；塑化标本经久耐用，易于保存，不易霉变，克服了福尔马林保存的标本使用过多极

易损坏，不浸泡福尔马林液内易霉变，不易保存的缺点。

塑化标本大致可分为四类，即硅橡胶浸渍技术、多聚乳胶包埋技术、环氧树脂透明技术和聚酯树脂组织切片技术。硅橡胶塑化标本具有弹性和柔韧性，很适用于教学实验。聚酯乳胶塑化标本与硅橡胶塑化标本均是不透明的，且较硬易碎，可用于厚的人体断面标本，对脂肪组织能极好地作对比显示，其中脂肪组织为白色，其他组织颜色较深。环氧树脂透明技术能制作透明人体和器官断面标本，可用于对所有人体结构的形态进行研究。聚酯树脂组织切片技术可用于制作不透明的脑片，可比较清楚地区分脑片上的纤维及神经核团。经过塑化的标本，对神经解剖的教学和科研都是很有用的工具。

（三）脑厚片标本染色

脑厚片是指将脑作冠状面或水平面等切片，切片的厚度一般在 0.5～1.0cm 的脑片为脑厚片。脑厚片标本染色目的是更清楚地分辨脑灰、白质的分布状况。脑厚片染色，可根据需要选择性浸染灰质或白质。染色的原理是利用灰质与白质所含髓磷脂量的不同。灰质中含髓磷脂少，白质中含髓磷脂多。当用水溶性染料时可使含髓磷脂少的灰质着色；当用脂溶性染料时，可使含髓磷脂多的白质着色。这样，就可明显区分灰质与白质的界限。

脑厚片染色，脑用5%～10%福尔马林固定后，根据需要将脑作冠状或水平切面，然后进行染色。

1. 灰质染色 常用的染料有苯胺黑（nigrosin）、洋红（carmin）、柏林蓝（Berlin blue）等。染色结果是使灰质着色，白质无色。常用和效果较好的染色方法有蓝色反应染色法、柏林蓝反应染色法、黄色染色法、褐色染色法、红色染色法和绿色染色法等。

2. 白质染色 一般多用脂溶性染料。常用的染色方法有油溶红白质染色法和立素尔大红白质染色法等。

（四）脑的解剖剥离标本

脑的解剖剥离标本是展示和研究中枢神经系统内部结构的重要方法之一。此方法能够把脑的主要纤维束及神经核团的位置、形态形象而立体地展示出来，对学习、研究、理解和记忆中枢神经系统结构有很大的帮助。其主要步骤是脑经福尔马林固定液固定，对脑进行特殊处理和浸泡。常用方法有冰冻法、热水浸煮法和药物（朱氏液）浸渍法等；最后使用牙科充填器或竹片刀剥离出所需要的纤维束或核团。

二、组织学研究方法

组织学研究方法是对器官或组织制成一般切片或超薄切片，并对切片进行染色，然后在显微镜下对切片上细胞结构以及有关的化学物质等成分进行观察的方法。组织学研究方法广泛应用于神经解剖学的学习和研究，是最常用方法。本部分主要介绍组织切片的制作方法和传统解剖学染色技术。

（一）固定

固定是神经解剖技术中的重要步骤之一，是电镜、组织化学、免疫组织化学、原位杂交等技术成败的关键环节。人或动物死后组织很快自溶，神经组织死后 25 分钟在光镜下可见

有改变。固定的目的是阻止组织自溶，保护组织免受微生物袭击，维持组织生前结构，使之正确地反映生活状态。

1. 常用的固定剂 理想的固定剂使组织内的蛋白质、脂类及其他细胞成分迅速凝固或沉淀，停止细胞濒死前或死亡后的变化。常用的固定剂简述如下。

（1）酒精（alcohol） 又称乙醇（ethyl），对组织固定作用的机理是使蛋白质脱水而致不可逆性的凝固变性。因此酒精对组织有固定、硬化、脱水作用。大多数脂类均能被酒精溶解，故脂类及类脂类物质不能用酒精固定。

（2）甲醛（formaldehyde） 是最常用的固定剂，商品名福尔马林（formalin），约含37%的甲醛。作为固定剂，通常配制成10%～20%福尔马林水溶液，也可用生理盐水或缓冲液配制。其对组织固定的作用机理是与蛋白质结合，对蛋白质发生固定作用。甲醛除对蛋白质有凝固作用外，对保存脂肪或类脂成分也有一定作用。甲醛易被氧化产生甲酸，使固定液的酸度增加，影响染色效果。

（3）多聚甲醛（paraformaldehyde） 为甲醛的聚合物，白色粉末状，每一分子含8～100个甲醛分子。难溶于冷水，在热水中可聚成甲醛单体而溶解，也可溶于弱碱或弱酸溶液中。多聚甲醛溶液实际是新配制的甲醛溶液。

（4）戊二醛（glutaradehyde） 也是常用的醛类固定剂，除具有上述醛类固定剂的特点外，它对蛋白质的交链作用较甲醛强，对组织内的小分子物质的固定效果明显增加，多用于电镜技术。但戊二醛渗透能力较弱，故常需要与甲醛或多聚甲醛等固定剂联合应用。

（5）醋酸（acetic acid） 对核蛋白有明显的沉淀作用，但对蛋白质、脂类没有固定作用，因此醋酸不能单独作为固定剂，它常于酒精等联合应用，并可减弱或抵消固定液对组织的收缩作用。

（6）四氧化锇（OsO_4） 又称锇酸（osmic acid），属强氧化剂。它是保持细胞微细结构的一种最佳固定剂。四氧化锇对蛋白质有很好的固定作用，不发生沉淀，组织几乎不收缩。它对脂类也有很强的亲和力，使脂类呈黑色，不溶于酒精和苯等有机溶剂。刺激性大，放存时必须密封。

（7）苦味酸（picric acid） 具有沉淀蛋白质并溶解黏蛋白，使固定的组织较柔软的作用。适用较硬的皮肤和肌腱等的切片标本的固定。

2. 常用固定方法 主要为浸泡和灌流固定两种方法。

（1）浸泡固定 将组织块直接浸泡在固定液中，一般固定液的量为组织块的15～20倍。

（2）灌流固定 通常经主动脉或心脏直接将固定液灌注动物机体。固定液的量至少是动物血液量的2倍以上。

（二）切片

切片的方法种类较多，下面介绍几种常用切片方法。

1. 石蜡切片 先将组织块脱水，后再置于熔化石蜡中浸蜡，使组织包埋在石蜡中。切片一般5～10μm厚，将切片贴于载玻片上，经脱蜡、染色后观察。

2. 一般冰冻切片 将固定或不固定的组织，经过保护处理后，用液态二氧化碳或半导体制冷装置迅速冻结，在冰冻切片机上切片。本法的优点是组织块不经脱水和包埋，故能保

存组织内的脂类成分和某些酶的活性；缺点是不能切出薄切片。

3. 恒冷箱切片 将组织块冷冻后在低恒温冷箱中进行切片。本法的优点是可切得较薄的连续冰冻切片，适用于细胞化学和免疫细胞化学的研究。操作时可将新鲜固定或不经固定的组织，用液氮、干冰等冷冻后置恒温冷箱内切片，或将组织块直接放置恒冷箱内，经过组织吸热器处理后切片。

4. 振动切片 使用的是振动切片机。该机是以控制器调节标本台上下直线运动，振动器使刀进行横向切割运动的切片机。振动切片机可切割新鲜或经固定的组织。

5. 冷冻干燥切片 将新鲜组织放入－160℃液氮异戊烷预冷后骤冷，使组织中的冰晶达到最小限度。冷冻后的组织块置－35℃～－40℃低温真空装置内干燥，组织块内的水分在真空时升华而被除去。已干燥的组织块进行真空包埋后切片。本法切片的优点是细胞在骤冷的同时立即停止一切生物化学变化，从而研究该时细胞内的物质变化情况。

6. 超薄切片 该种切片方法要通过固定、脱水、包埋、切片等过程。制作超薄切片的组织很小。先用多聚甲醛和戊二醛的磷酸缓冲液作预固定，然后用四氧化锇的磷酸缓冲液作后固定，包埋剂多用环氧树脂。当组织块脱水后放入环氧树脂内包埋，在超薄切片机上用玻璃刀或钻石刀切片，切片厚度不超过0.1μm。切片用醋酸铀及枸橼酸铅等进行染色，最后可置电镜下观察。

（三）染色

染色是指组织或细胞的某些成分与染料经化学结合或物理吸附作用而显色的一种方法。染料可分为碱性染料和酸性染料。含有氨基的染料是碱性染料，在溶液内带正电荷，为阳离子染料，它和组织内的酸性物质有亲和力。含有羧基和磺基的染料为酸性染料，它在溶液内带负电荷，为阴离子染料，它与组织内的碱性物质有亲和力。

神经解剖学的传统染色方法比较多，下面介绍常用的数种。

1. 苏木精－伊红法 简称HE染色法，是最常用的普通染色方法。苏木精是阳离子染料，将细胞核内的嗜碱性物质染成蓝紫色，伊红是阴离子染料，可将细胞质和胶原纤维等染成粉红色。

2. Golgi 法（神经元镀银技术） Gamello Golgi（1843～1926）是意大利解剖学家，于1873年创建了Golgi法，用硝酸银镀染显示完整的神经元轮廓及其突起的走向。Golgi法的优点是可显示单个神经元的形态；缺点是不稳定，不易掌握。Golgi为神经解剖学的发展作出了不可磨灭的贡献，1906年与Cajal共获第六届诺贝尔医学奖。现在Golgi法已有很多改良方法。例如借铬酸银沉积，即称“Golgi”法；借汞或汞的复杂氧化物沉积，通称“Golgi－Cox”法。

3. Cajal 法 Ramony Cajal（1852～1934）是西班牙著名的神经组织学家和优秀的摄影家，并擅长绘画。Cajal为神经解剖学的发展作出了巨大成就，他1904年出版的《人和脊椎动物的神经组织学》和《神经系统的变性和再生》，现在仍是神经解剖学的经典著作。1903年Cajal创立了Cajal法——还原银法，镀染神经元内的神经原纤维，从而可以显示轴突末梢和其他胞体之间的联系。

4. Nissl 法 Frana Nissl（1860～1919）是德国病理组织学家。Frana Nissl于1892年创立

了Nissl染色法，并以发现了Nissl体、Nissl染色法和Nissl变性而闻名。Nissl法是用碱性染料染神经组织的一种方法。神经组织中可与碱性染料结合的主要成分是核酸（脱氧核糖核酸和核糖核酸）。神经元胞浆中的大量核糖核酸主要以Nissl小体的形式存在；细胞核中染色质少，故染色浅，但核仁含有丰富核糖核酸和一层脱氧核糖核酸外壳，故核仁染色较深；但胞浆不着色。神经胶质细胞核内染色质较丰富，故着色较深，但胞浆不着色。Nissl染色使用的碱性染料主要有焦油紫，又称甲酚紫、克紫或焦油固紫、硫堇、甲苯胺蓝和培花青。

5. Weigert法 Kaul Weigert（1843～1904）是德国病理学家，于1884年创立了Weigert法。Weigert法是一种髓鞘染色法，先用金属化合物如铬、铜、铁等盐对神经组织，特别是髓鞘进行媒染，再用苏木素染色，使髓鞘染成深蓝色至黑色。Weigert法是显示髓鞘的优秀方法。

6. Marchi法 Vittauio Marchi（1851～1908）是意大利人，于1890年创立了Marchi染色方法，是专门显示变性髓鞘的染色方法。由于可选择地镀染变性髓鞘，因此本法广泛应用于变性有髓纤维束的追踪。Marchi法使用的染料为锇酸（四氧化锇），较昂贵。锇酸仅能染髓鞘，不能染变性轴突。Marchi法染色可使变性髓鞘及脂肪呈黑色，背底黄至浅棕色。Marchi法的缺点是只适合有髓纤维，易出假象。

7. Nauta法 由Nauta和他的同事于1954年创立，是一种显示变性纤维或终末端的改良镀银法。用高锰酸钾对神经组织进行前处理，以降低组织还原力，并抑制正常纤维嗜银性，从而可以追踪到终末前变性，显示变性纤维靠近终末部分的变性象。神经原纤维是神经元中的嗜银成分。神经元被还原剂还原后，银盐与氨溶液的成分在神经原纤维上发生沉淀，从而显示神经元。溃变银染法曾为研究中枢神经系统纤维联系提供了重要方法。

第二节 近代研究方法

一、辣根过氧化物酶（HRP）法

（一）HRP简介

HRP（horse radish peroxidase method）是从辣根中提取的一种过氧化物酶，是一个分子的无色酶蛋白与一个分子的棕色铁卟啉辅基结合而成的一种结合酶。由于HRP容易被神经元胞饮，所以被用来作示踪剂。HRP的分子量为40000，直径3.0mm。通常用德文缩写字RZ（Reinheit Zahl）表示其纯度，作为追踪剂的HRP其RZ值不得小于2.5，最好在3.0以上。作为示综剂，除单纯HRP外，还有结合HRP，如麦芽凝集素（wheat－germ agglutinin WGA）－HRP和霍乱毒素（cholera toxin，CT）－HRP。结合HRP是通过胞膜吸附、受体介导被神经元摄取的，大大地增强了细胞的摄取能力，因此，在神经束路追踪中结合HRP比单纯HRP灵敏，在相同计量条件下，WGA－HRP和CT－HRP所显示的逆行标记细胞的数量是单纯HRP的数十倍甚至上百倍。结合HRP除了灵敏度高和计量低微之外，更重要的是结合HRP能清晰地显示整个神经元的全貌（包括轴突和树突的细微分支），其图片可与

传统的 Golgi 法比美。因此，在神经科学研究中应用广泛。

（二）HRP 示踪技术

此技术是将 HRP 作为示踪剂，利用轴浆运输现象追踪神经元纤维联系的一种方法。

1. 原理 HRP 酶可被神经末梢摄取，经逆行或顺行轴浆运输至神经元胞体后，可用组织化学方法显示胞体的定位。不仅可追踪周围神经纤维，也可运用于中枢神经系统的神经细胞和纤维的显示。神经细胞在摄取 HRP 后，顺行或逆行运输至末梢或中枢分布区。组织中的 HRP 无色，用肉眼和光镜无法辨别，必须使用成色剂，游离 HRP 或结合 HRP 成色反应的原理及步骤相同。组织中的 HRP 与 H_2O_2 结合形成［HRP · H_2O_2］络合物。此络合物可氧化各种供氢的成色剂［（CHR）H_2］，其氧化状态的 CHR 呈现各种颜色，CHR 最好是不溶水的沉淀物：

$$HRP + H_2O_2 \rightarrow [HRP \cdot H_2O_2]$$

$$[HRP \cdot H_2O_2] + (CHR)\ H_2 \rightarrow (CHR) \downarrow + HRP + 2\ H_2O_2$$

HRP 法可更精确地研究神经纤维的联系、神经元的形态与纤维的走行，此法结束了自 Marchi（1886 年）开始长达一个世纪的银染法追踪选择性溃变纤维的年代，在神经通路及其功能的研究中具有划时代的意义。

2. HRP 法的主要操作步骤

（1）HRP 导入　根据研究目的和部位的不同可选用不同的导入方法。

①压力注射法：将配制成的 20% ~50% 的 HRP 水溶液或盐溶液，使用注射器直接注入所要注射的部位。HRP 液的注射量，因动物大小、注射范围大小而异。

②电泳法：也常用于 HRP 的导入。优点是泳入范围很小，因泳入的只有 HRP 离子，而无液体渗出，在组织内不形成液体压力而致伤组织。

③神经干内注射和直接涂敷：在周围为了追踪其神经干支配器官的运动或感觉神经元胞体来源的定位，常采用器官内或神经干内直接注射 HRP 法或用 HRP 结晶直接涂敷于切神经的近中心段的断端，或将神经断端浸泡在 20% HRP 溶液中，也可达到在神经干内注射 HRP 的同样目的。

（2）存活期　HRP 引入之后，动物需存活一段时间，称为存活期。HRP 在引入部位被神经元摄取、经轴浆逆行或顺行运输运至胞体或末梢之后，在局部积累都需要一定的时间。因此存活期可根据动物的大小及追踪束路的长短而定。被末梢摄取的 HRP 经逆行运输至胞体或摄取的 HRP 顺行运输至末梢，其运输速度分别为 50 ~80mm/d 和 50 ~500mm/d。最佳存活期（日）= HRP（束路长度 mm/350mm）+1 日。

（3）灌注固定　动物经存活期之后，再行麻醉，行灌流法固定。固定是 HRP 技术中最关键的步骤之一。先快速灌注生理盐水，即灌注多聚甲醛与戊二醛的混合固定液，组织可直接灌注蔗糖磷酸缓冲液或在蔗糖磷酸缓冲液中保存。

（4）切片保存　灌注固定后即取脑、脊髓或其他组织，作冰冻切片或振动切片。切片厚度一般为 30 ~60μm。切片收集于 pH7.4 的磷酸缓冲液中。

（5）成色反应　HRP 常用的呈色剂包括联苯胺（DBHC）、二氨基联苯胺（DAB）、邻－联茴香胺（OD）、四甲基联苯胺（TMB）等。最常用的是二氨基联苯胺和四甲基联苯胺。

二氨基联苯胺灵敏度稍差，但反应产物稳定，HRP 呈棕色或棕黑色颗粒，显示细胞结构比较细致，适于作电子显微镜研究。四甲基联苯胺法不仅最灵敏，而且无致癌作用，HRP 颗粒呈蓝色，但由于该法在反应时间的 pH 值为 3.3，因而细微结构保存不佳，虽可作电镜观察，但结构不如 DAB 法细致清晰。

（6）*贴片观察* 组织化学反应后，贴片，空气干燥，常规脱水和封片，在显微镜下观察。

二、放射自显影技术

放射自显影术（autoradiography，ARG）是应用放射性同位素在蜕变中发射出的高能量射线使胶片或照相底片感光的原理，将同位素标记的化合物注入动物体内或培养液中，细胞摄取同位素标记物后产生射线使乳胶感光，经显影定影处理，得到相应的影像技术。常用的为放射自显影追踪法（autoradiographic nerve tracing method，ARNT）

（一）放射自显影追踪法原理

同 HRP 技术一样，该法也是利用神经细胞轴浆运输原理显示神经元与末梢或神经元之间联系的方法。神经元的胞体都可合成蛋白质，并通过轴浆运输到树突或轴突的末梢，神经元的胞体对氨基酸有选择性的摄取和输送功能。因此用放射性示踪剂作标记，可追踪被胞体摄取的标记氨基酸，在胞内合成蛋白质之后，运输至神经纤维末梢的行程。由于蛋白质是在神经细胞胞体内合成，运输至其纤维末梢，故放射性同位素标记的氨基酸用于顺行追踪。此法比较灵敏，其最大优点是不标记过路纤维，这是 HRP 法和早期的神经元纤维溃变法难以避免的。

（二）放射自显影追踪术的一般操作步骤

1. 标记物的引入 将标记示踪物注入动物体内，可采用注射法或电泳法。

2. 动物存活时间 1～7 天。

3. 固定 可采用断头法处死后再固定或 10% 福尔马林灌注固定法。

4. 切片、贴片，晾干

5. 涂布原子核乳胶 原子核乳胶简称核乳胶，在暗室内进行，切片放入胶缸涂胶。

6. 曝光 将涂有乳胶的标本置于暗盒中，于 4℃～10℃ 曝光，时间可自定，约为 1 周至数月，需曝光时间长者可将装有标本的暗盒置于干燥器内进行曝光。

7. 显影及定影 在暗室于 19℃ ±0.5℃ 显影 4～5 分钟。然后定影 20 分钟后用蒸馏水洗 5～10 分钟。

8. 染色 可在涂乳胶前染色，也可在定影及水洗后进行染色。定影后染色可较好地保存细胞的颜色。一般多用 HE 或甲苯胺蓝染色，不宜过深，也可进行细胞化学处理。常规脱水，透明，中性树胶封固后光镜下观察切片。

三、免疫细胞化学技术

免疫细胞化学（immunocytochemistry）技术是应用免疫学原理，通过抗原和抗体的结合

反应，显示细胞内的抗原或抗体成分。将这种技术用于组织学研究则称为免疫组织化学（immunohistochemistry）技术。由于该方法特异性强，灵敏度高和精确性准，特别是近年来免疫学不断发展，提纯抗原和制备标记抗体等技术不断提高，免疫细胞化学技术进展迅速、应用广泛，已成为神经生物学的重要研究方法。

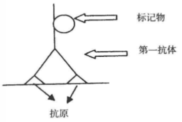
（一）原理

在神经生物学中作为抗原的通常是神经肽、蛋白或酶，抗体为免疫球蛋白。一个抗原上可以有多个抗原决定簇，故由此而产生的抗血清中可能含有针对不同决定簇的抗体，这一类抗体称为多克隆（polyclonal）抗体。用杂交瘤技术可以制成针对单个决定簇的抗体称单克隆（monoclonal）抗体。

大多数抗原－抗体反应物是不可见的，一般不能用肉眼或光镜所识别，需要将抗体或免疫复合物用可以辨别的物质或荧光素结合，再用组织化学方法显示此标记物，利用一般光镜或荧光显微镜进行观察。常用的标记物质有荧光素、酶、铁蛋白、生物素、胶体金及同位素等。光镜免疫组织化学最常用的标记物是 HRP。用这种方法可对细胞内的特定抗原、抗体进行定位、定量研究。

（二）免疫组织化学常用的方法

1. 免疫荧光细胞化学染色法 用荧光染料作为标记物，先将已知的抗原标记上荧光素，再用这种荧光抗体或抗原作为探针，检查细胞或组织内的相应抗原或抗体，在细胞或组织中形成的抗原抗体复合物上即含有荧光素，利用荧光显微镜观察标本时，不同的荧光素受各种不同的激发光照射而发出各种不同的荧光，可以看到荧光所在的组织或细胞，从而准确定位各种荧光素标记的抗原或抗体所在的部位。



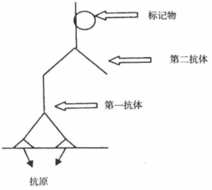


图 10－1 免疫细胞化学染色的直接法与间接法比较

（1）直接法 将荧光素直接标记在特异性第一抗体上，与组织切片抗原相结合，一次孵育成功，在荧光显微镜下观察，以鉴定抗原的部位。此法简单，快而具有特异性，但灵敏度低，而且必须分别标记每一种抗体，需要的抗体量大，本法多被间接法代替。最常用的荧光素是异硫氰酸荧光素（fluorescein isothiocyanate，FITC），标记抗体与组织抗原结合，呈现

黄绿色荧光，最大激发波长为490nm，最大发射波长为520nm。另一常用的荧光素是罗达明（rhodamine，TRITC），最大激发和发射波长为580nm和610nm。

（2）间接法　不需直接标记特异抗体（第一抗体），而是标记第二或第三抗体。先用第一抗体孵育组织切片，在第一抗体与组织中的抗原结合后，再用荧光素标记的第二抗体孵育，第二抗体是抗产生第一抗体的动物（一般为兔或鼠）的IgG的抗体，此法灵敏，经过两次甚至多次反应，标记强度得到放大，只需标记一种抗IgG抗体即可鉴定多种抗原，此法采用抗体或抗原可多达6次，将极微量的抗原或抗体以多次抗原抗体复合物形式标记出来。

2. 免疫酶法　本法属于间接法，用酶标记抗体，当抗原与抗体在组织或细胞内进行特异的抗原抗体反应后，再用组织化学方法使标记的酶催化相应的底物，生成有色产物，在显微镜下观察时可间接地对抗原物质定位。标记抗体常用的酶有辣根过氧化物酶（HRP）、碱性磷酸酶等。

（1）PAP法　PAP是过氧化物酶－抗过氧化物酶（peroxidase anti－peroxidase）的简称。PAP复合物是HRP的抗体和HRP结合而生成的一种复合物。含2个抗HRP的IgG分子及3个HRP分子。采用三级抗体，即第一抗体、桥抗体和复合物抗体。最后用HRP的底物显示PAP复合物，有若干种底物可供选择，不同底物可以产生不同的颜色反应。最常用的是过氧化氢（双氧水，H_2O_2）和二氨联苯胺（3，3′－diaminobenzidine，DAB）作为供氢体，产生氧化反应，生成不溶性棕褐色反应产物沉淀，定位在抗原所在处。标本在光镜或电镜下均可观察，显色灵敏，可长期保存显色结果。

（2）ABC法　本法与PAP法相似，ABC（avidin－biotinylated horseradish peroxidase complex）是卵白素（抗生物素）－生物素结合的HRP复合物。生物素（biotin）为小分子维生素，可与很多生物分子结合。卵白素（avidin）是存在于蛋清中的一种糖蛋白，每一分子上有4个同生物素亲和力极高的结合点，可以结合4个生物素。ABC复合物是先将HRP与生物素结合，然后按一定比例将此复合物与卵白素反应，使每一个卵白素分子上结合3个带HRP的生物素，留出一个能与其他生物素结合的空位。复合物上携带的HRP越多，则酶催化的组织化学反应也越强烈，阳性结果也越明显。ABC法是在第一抗体反应后，用已结合生物素的抗IgG抗体桥接，然后用ABC孵育，使桥抗上的生物素与ABC中卵白素上的空位结合，最后仍用HRP的底物成色。由于生物素及卵白素间的亲和力极强，故ABC方法比PAP法更灵敏，有时也称为亲和细胞化学方法。

3. 其他免疫细胞化学染色法　利用金黄色葡萄球菌细胞壁上的一种抗原提取物——A蛋白（staphylococcal proteinA，PA）能和多种哺乳动物血清中的IgG的Fc片段结合而产生沉淀的特点进行反应原的方法——A蛋白法。一般是事先将HRP与A蛋白交联，再通过孵育使HRP与A蛋白交联的复合物与切片上的第一抗体结合，随后进行呈色反应。方法简便，显色效果良好。也可把胶体金（colloidal gold）作为标记物吸着在Q蛋白或第二抗体上，通过孵育使胶体金颗粒与A蛋白的复合物或胶体标记的第二抗体与第一抗体结合，通过对胶体金粒子进行银增感反应（silver enhancement），可以分别在光镜和电镜下观察到反应后的黑色颗粒状沉着物。如果把直径很小的纳米金（nano－gold）颗粒交联至第二抗体上，通过孵育使纳米金颗粒标记的第二抗体与第一抗体结合，可穿过细胞膜，其敏感性和抗

原定位能力均极佳。

4. 免疫组织化学双重染色技术 为了研究两种物质在同一神经元或其突起和末梢内的共存现象，或含不同化学物质的两种结构之间的相互关系，可用相邻切片法或免疫组织学染色法进行双重染色技术。

(1) *相邻切片法* 简单易行，将组织切成薄片，使被观察的神经组织连切在2张以上的切片上。相邻的切片用不同的抗体进行免疫组织化学染色，比较相邻切片同一神经元的染色结果，可判断两种物质是否共存于同一神经元内。适用于研究较大的神经元。

(2) *不同颜色呈色的HRP法* 组织切片用第一种特异抗体孵育后，按PAP法或ABC法反应后，在重金属（钴、镍等）存在的情况下用DAB和H_2O_2呈色，DAB氧化产物在重金属盐作用下呈黑色或蓝黑色。然后再用第二种抗体孵育，重复PAP法或ABC法，用单纯的DAB成色，得到棕色反应产物。特别利于观察含不同物质的两种结构的相互关系，例如某种终末端与另一种神经元的关系。同一神经元内含两种不同物质也可在一定程度上从黑色与棕色的综合色中判断出来，但往往被一种颜色特别是黑色掩盖。因而第一抗体最好是产自不同的动物种属。

(3) *免疫荧光组织化学双标法* 按免疫荧光组织化学染色的步骤，将不同抗体和显示系统混合起来孵育。其条件是两种第一抗体需来自不同种动物。如产自兔及羊的两种多克隆抗体，或一种多克隆抗体及一种单克隆抗体。将两种第一抗体混合后与组织孵育，各自与其针对的抗原结合。然后用不同荧光物（FITC及TRITC）标记，针对两种第一抗体的二抗混合孵育，各自与其第一抗结合。两种物质在荧光显微镜下产生不同荧光，分别进行观察，除分别照相用两张照片显示外，还可以两次曝光照相显示在同一张照片上。对于显示神经元、纤维、终末端内的共存现象和神经与终末端的联系，效果最好。双重或三、四重染色的结果可以在荧光显微镜和激光共聚焦显微镜下观察。

四、原位杂交组织化学技术

原位杂交组织化学技术（in situ hybridization histochemistry，ISHH）简称原位杂交（insitu hybridization），它是用标记的DNA或RNA为探针，检测细胞或组织切片中的特异性核苷酸序列，并将其显示出来的技术。

（一）原位杂交组织化学技术的分类

根据所用探针和靶核酸的不同，原位杂交可分为DNA－DNA杂交，DNA－RNA杂交和RNA－RNA杂交三类。根据探针的标记物是否能直接被检测，原位杂交又可分为直接法和间接法两类。直接法主要用放射性同位素、荧光及某些酶标记的探针与靶核酸进行杂交，杂交后分别通过放射自显影、荧光显微镜术或成色酶促反应直接显示。间接法一般用半抗原标记探针，最后通过放免组织化学法对半抗原定位，间接地显示探针与靶核酸形成的杂交体。原位杂交最初是以同位素标记探针进行的。尽管同位素标记（如^{35}S、^{3}H、^{32}P等）仍然广泛应用，但非同位素标记探针的迅速发展（尤其是生物素标记探针和地高辛标记探针），更引起了科技工作者的极大兴趣。非放射性标记探针的发展有可能使原位杂交组织化学技术在不久的将来与今天的免疫组织化学技术一样成为实验室的常规技术。

（二）原位杂交技术基础程序

1. 玻片的预处理 组织细胞原位杂交主要在载玻片上进行，故载玻片的处理至关重要。载玻片要进行一般处理、硅化处理，为防止组织或细胞标本在杂交过程中脱落使用黏附剂。

2. 组织取材 组织取材应尽可能新鲜。由于组织 RNA 降解较快，所以新鲜组织和培养细胞最好在 30 分钟内固定。

3. 固定 目的是：①保持细胞结构；②最大限度地保持细胞内 DNA 或 RNA 的水平；③使探针易于进入细胞或组织。化学固定剂有沉淀固定剂和交联固定剂两类。常用的沉淀固定剂有乙醇、甲醇和丙酮等，交联固定剂有多聚甲醛、甲醛和戊二醛等。

4. 组织切片的处理

（1）脱蜡 石蜡切片必须先脱蜡，由于石蜡影响探针的穿透力，因此脱蜡要充分。

（2）增强组织的通透性和核酸探针的穿透性 此步骤应根据固定剂的种类、切片的厚度和核酸探针的长度而定。常用的方法如稀酸处理、去污剂的应用、消化酶的应用等。

（3）杂交缓冲液孵育 杂交前用不含探针的杂交缓冲液在杂交温度下孵育，以阻断玻片和标本中可能与探针产生非特异性结合的位点，达到减低背景的目的。预杂交液和杂交液的区别在于前者不含探针和硫酸葡聚糖。

（4）防止污染 由于在手指皮肤及实验室用玻璃器皿上均可能含有 RNA 酶，为防止其污染影响实验结果，在整个杂交前处理过程中都需要戴消毒手套，实验所用玻璃器皿及镊子都应于实验前一日置高温烘烤（180℃）以达到消除 RNA 酶的目的。杂交前及杂交时所用的溶液均需经高压消毒处理。

（5）内源性生物素和酶的抑制剂 非放射性原位杂交，如用生物素、辣根过氧化物酶或碱性憐酸酶做标记物，组织中同源性的生物素、辣根过氧化物酶或碱性磷酸酶应事先阻断。

（三）杂交反应

杂交是将杂交液滴于经预杂交处理的组织细胞切片上，加盖硅化的盖玻片（目的是防止孵育过程中杂交液蒸发），按所要求的温度进行孵化。虽然杂交反应操作简单，但要注意的环节是很多的，而且相当重要。

（四）杂交后处理

杂交后处理的目的是除去未参与杂交体形成的过剩的探针，除去探针与组织标本之间的非特异性结合，从而减低背景，增加信噪比。杂交后的处理包括系列不同浓度、不同温度的盐溶液的漂洗。洗涤的条件，如盐溶液的浓度、温度、洗涤次数和时间因核酸探针内类型和标记物的种类不同而略有差异，需遵循的共同原则是盐溶液浓度由高到低，而温度由低到高。

（五）杂交体的检测

标本经杂交后处理，即可对杂交体进行检测，检测的方法因探针的标记物不同而异。

五、流式细胞技术

流式细胞技术（flow cytometry，FCM）是近年来发展起来的对细胞或细胞颗粒进行定量或分类研究的新技术。流式细胞仪（flow cytometer）是将流体喷射技术、激光光学技术、电子技术和计算机技术综合为一体的高科技产品。流式细胞仪又称荧光激活细胞分类器（fluorescent actⅣated cell sorter，FACS）。应用流式细胞术可对单个细胞逐个地进行高速准确的定量分析和分类。在单个细胞中，可同时测得DNA、RNA及细胞体积3个参数，也可测定细胞核与细胞的比例、蛋白和免疫标记的其他参量。在无菌条件下，可以对活细胞进行高速分类，其纯度达90%~99%，这种高速信息的测量分析和高纯度分类的新技术，为细胞生物学研究提供了新的研究手段。

（一）流式细胞仪的原理和应用

要求被检细胞用荧光染料染色，呈悬浮状态。荧光染色的细胞通过样品进入管道后，被挤压进超声波振荡器喷嘴的中央部，同时将无细胞的液体经过另一进入管被压入喷嘴，使之形成包围细胞悬液的鞘液。在鞘液和细胞悬液存在一定的压力差的情况下，中央的细胞悬液和周围鞘液的分层液流快速通过50μm的喷嘴圆孔，被喷射出来。当同轴流动的细胞悬液和鞘液通过激光器发出的氩离子激光束照射区时，单行流动的细胞发射出荧光，荧光检测器接受聚焦后的荧光信号。多数流式细胞仪可以同时收集两种以上不同波长的荧光信号，检测细胞膜表面或细胞内荧光分子的数量。散射光检测器则接受细胞散射偏转后的激光束信号，此信号可反映细胞的物理化学特性、大小、数量和类型。流式细胞仪可对悬浮细胞进行分析和测量，并进行统计学分析，但无法得到细胞的形态学以及多种动力学功能参数，尤其不能满足细胞的解剖定位研究。

（二）流式细胞计能测量的主要参数

1. 结构方面研究 可研究细胞大小和形态；核与浆比值；色素颗粒及含量（如血红素、叶绿素、脂褐素）；亚细胞形态；DNA、RNA含量、碱基比例及蛋白质含量；细胞表面抗原；碱性蛋白；染色体结构；细胞表面糖原等。

2. 功能方面研究 氧化还原酶状态；膜的完整性、流动性、通透性或微黏度；表面电荷；细胞内的pH值；细胞和线粒体膜电位；细胞质和膜结合的钙离子；酶活性；DNA合成能力；细胞质网络的结构性；细胞内和细胞膜受体等。

六、电子显微镜技术

电子显微镜（简称电镜，electron microscope）是用电子代替可见光，用电磁透镜代替光学透镜，利用电子的波动性，将肉眼不可见的电子束呈像在荧光屏上的显微镜。其分辨为0.2nm，比光镜高1000倍，可放大几万倍到几十万倍，能观察到细胞内更微细的结构。在电镜下所见的结构称超微结构（ultrastructure），常用的长度计量单位为纳米（nm）。

（一）透射电镜（transmission electron microscope，TEM）

由电子发射器发射的电子束穿透样品，经电磁场透镜的聚合放大投射到荧光屏或照相胶

上成像而成。由于电子易被散射或被样品吸收，故穿透力低，但为获得生物样品的高反差，必须对样品的超薄切片（厚50～80nm），其制作过程与光镜制片技术相似，要经过固定、脱水、包埋、切片和染色一系列的步骤。固定剂通常有锇酸（四氧化锇）、高锰酸钾和一些醛类（如甲醛、戊二醛），包埋剂主要采用塑料物质如环氧树脂和聚酯等。切片则要用超薄切片机（ultramicrotome），切片刀是玻璃刀或钻石刀，切片粘在金属载网上，常用的染色剂为铅盐和铀盐，锇酸也有一定的电子染色作用，使组织中的某些结构与之结合，以增加物像的反差而提高组织结构的清晰度。因生物标本的不同部位对金属盐类的吸附能力不同，在吸附重金属强的地方，散射电子的能力强，透过去的电子数目就少，最终在荧光屏上所打出的荧光就弱，显现为暗区，称电子密度高（electron - dense）；而在吸附电子能力弱的地方，散射电子的能力也较弱，透过的电子数目多，打在荧光屏上所发出的光就强，显现为亮区，称电子密度低（electron - lucent），这样便构成了反差。加强反差的染色方法称为正染色法。负染色法中所用的重金属盐类不会被样品成分所吸附，而是沉积到样品四周，表现为暗区，有样品的地方表现为亮区，这样就能把样品的外表与表面结构清楚地衬托出来。多用于显示存在于悬浮液中的许多极小的颗粒状材料，如病毒、蛋白质一类的生物大分子。超薄切片也可直接在低温冷冻的条件下切出超薄切片，称为冷冻切片技术，不经过固定脱水包埋等化学固定，所得图像更真实和更有代表性，分辨率也较高。

（二）冷冻蚀刻技术

冷冻断裂和冷冻蚀刻技术是一种透射镜样品制备技术。冷冻断裂（freeze - fracturing）是在极低的温度下将生物样品断裂，暴露出生物标本内部的表面结构，然后在断裂面上喷涂一层金属如碳或铂，制成一层复型膜在透射电镜下观察。冷冻蚀刻（freeze - etching）是在冷冻断裂的基础上稍加改变而成，即在生物样品经冷冻断裂后，在高真空下使断面上一部分冰加热升华，然后再进行复型。习惯上将这两种方法统称为冷冻蚀刻，或冷冻复型技术（freeze replica technique）。本法是用冷冻固定代替了化学固定，而且不经过脱水、包埋等步骤，使生物样品更接近生活状态。在冷冻断裂生物样品时，能揭示生物膜内部和细胞内的三维结构像，在电镜下具有明显的立体感。应用这一技术能发现许多用超薄切片无法显示的结构。具体方法是：组织块先经甘油生理盐水处理，防止冰晶形成和提高冷冻速度，然后放入液氮内快速冷冻，在低温下用钢刀将组织切开，形成不平的断面，在真空下（-100℃左右）使断裂面水分升华，先后喷镀一层白金膜和碳膜。取出组织膜和白金复制膜，用强酸腐蚀掉生物组织，将金属复制膜置于透射电镜下观察。

（三）扫描电镜（scanning electron microscope，SEM）

是研究细胞和器官表面立体微细结构的电子显微镜，利用电子发射到样品上，有一部分电子把样品表面原子的外层电子打落，称为“二次电子”，收集起来并使它们成像，称为扫描电镜。其照明部分与透射电镜一样是发生电子的电子枪，电子经几个电磁透镜聚焦成一极细的电子束（称电子探针）落在标本的表面。沿着整个标本表面顺序逐行地移动，也就是对标本扫描，然后用探测器把从标本表面发射出来的“二次电子”收集起来，再经视频放大器放大后调制显像管的亮度。因电子探针在标本上移动和显像管荧光上亮点的移动是同步

的，所以在显像管荧光屏上就扫描出一幅反映该标本表面形状的图像来，图像可直接观察，也可用照相机拍摄记录下来。扫描电镜主要观察物体的表面形态，因而对样品的厚度没有限制，无需制超薄切片，在样品处理上比较简单，只需经过固定、脱水及镀上一层金属薄膜就可以观察了。其视场大、景深长，图像清晰富于立体感和真实感，能显示如细胞的突起、微绒毛、神经纤维、微管微丝等，能够直接观察样品表面的立体结构。

七、激光扫描共聚焦显微技术

激光共聚焦扫描显微镜（laser scanning confocal microscope）是以激光束为光源，将光学显微镜技术、激光扫描技术和计算机图像处理技术结合在一起的高技术设备。其主要装置包括激光器、扫描头、显微镜和计算机四大部分，用以研究和分析细胞在变化过程的结构，对活细胞离子含量变化的定量进行检测。激光共聚焦扫描显微镜的主要应用如下。

1．定量荧光测定

（1）*对活细胞进行定量荧光测定*　激光共聚焦扫描显微镜不仅可对细胞的溶酶体、线粒体、内质网、细胞骨架、结构蛋白、DNA、RNA、酶和受体分子的含量、成分、分布进行定性和定量测定，还可测定细胞的膜电位、氧化－还原状态及配体结合等生化反应。

（2）*可适用于高灵敏度快速免疫荧光测定*　激光共聚焦扫描显微镜可准确监测抗原表达、细胞结合和杀伤就定量的形态学特征。

2．细胞内离子测定　使用荧光探针，激光共聚焦扫描显微镜可对神经细胞的 Ca^{2+}、H^+、pH 值及其他各种细胞内离子进行定量和动态分析；使用双荧光探针可对 Ca^{2+} 和 pH 值同时测定。

3．定量共聚焦图像分析与三维图像重组　通过激光共聚焦扫描显微镜的共聚焦系统，可获得生物样品高反差、高分辨率和高灵敏的二维图像；利用激光共聚焦扫描显微镜模拟荧光处理，可将系列光学切片的数据合成三维图像。三维重组图像可使神经细胞、细胞器的形态学结构更生动逼真。

4．细胞间通讯研究　激光共聚焦扫描显微镜可从形态学上观察细胞间连接的变化、连接蛋白、黏附因子；测量细胞间隙连接介导分子转移；测定某些因子对神经元间通讯的影响等。

5．细胞膜流动性测定　利用专用软件可对细胞膜的流动性进行定量和定性分析，细胞膜流动性测定在膜磷脂脂肪酸组成分析、药物效应和作用点、温度反应测定和物种比较等方面都有重要作用。

八、神经组织和细胞培养

将神经组织（神经元和神经胶质细胞）或细胞放在体外适宜的培养液环境中，使之生存和生长的一种技术方法，可进行形态学的动态观察，并在此基础上进一步作各种细胞染色、免疫组化、生理、电生理、生化、药理及分子生物学等观察与实践，总称为神经培养（neural culture）。一般限于神经和细胞的体外培养，也就是指神经元与神经胶质细胞的培养。所取培养材料来自新鲜的哺乳动物或脊椎动物的神经组织和神经细胞。神经组织是高度

分化组织，神经元一般不再进行分裂和繁殖，所以只是原代培养（primary culture）。近年对神经干细胞（neural stem cell）的研究发现，干细胞可以分裂、增殖，并在一定条件下分化成神经元或胶质细胞。神经组织对体外生存环境的要求有其特殊性，如对培养中葡萄糖浓度的要求较一般组织高，除了血清、有机物、无机物、维生素、激素等，常需神经营养因子（neurotrophic factors，NTF）以促使其维持、分化和成熟。同时，在体外环境中，温度、湿度、pH、气体、基质等因素也很重要。其培养难度较大，有其特殊性。

（一）神经培养的分类

1. 按培养物的整体性和大小分类

（1）器官培养（organotypical culture，organized culture）　指器官的一部分，如小脑片的培养、脊髓片的培养。

（2）组织培养（tissue culture）　一般的神经培养，取自某个器官的一部分组织，包含神经元和神经胶质，有时可同时混有结缔组织、血管或脉络丛等结构。

（3）细胞培养（cell culture）　把神经组织用机械或消化酶或其他方法使其细胞分散，然后再培养。可进一步分离和纯化细胞。如神经元的单独培养，少突胶质细胞的纯化培养或Schwann细胞的纯化培养。

2. 按培养的方式分类

（1）静置式培养（stationarey culture）　可有载片式、试管式或培养瓶式等。

（2）旋转管培养（roller tuber culture）　培养管不断缓慢旋转，以便培养物与培养液能经常改变相互关系。

（3）无血清培养（serum - free culture）　培养液中不加血清，所在成分均可人为控制。

（4）原代培养（primary culture）　神经元一般不再分裂，不传代，数量上只减不增。

（5）传代培养（secondary culture）　胶质细胞，尤其是胚胎或新生的胶质细胞可以有丝分裂，可以传代。胚胎或出生后的神经干细胞可以传代，也可以转化为神经元或神经胶质细胞。

（6）再培养（sub - cuture）　将培养物经过切、割、取、舍等修理后，继续进行培养。

（7）联合培养（co - culture）　把两种或两种以上的细胞或组织放在一块进行培养以了解两者在培养过程中的相互作用，细胞迁移，细胞及突起的行为变化。如脊髓与骨骼肌的联合培养，视神经片段与小脑的联合培养，蓝斑与海马的联合培养等等。

（二）神经培养前准备

神经培养技术所需的条件及各种设备与试剂基本与一般的组织细胞培养相似，但要求更高，对一些解剖方法和设备试剂也有特殊要求。

1. 主要装置　有过滤无菌培养室、准备室、操作室、更衣室等，建立严格的操作规章制度，时刻有无菌无污染的观念。实验室配备的设备有倒置相差显微镜（inverted phase contrast micropscope）及 CO_2 培养箱（carbon dioxide incubator），立体显微镜，常规和低温冰箱，离心机，电子天平，比色计，水浴锅，干燥箱，电热消毒锅，微波炉，隔水式恒温孵育箱，实验台，药品柜，器械柜，清洗水池，晾干架等。

2. 常用实验器材 手术器械以眼科手术器械为主，配以精细镊和精细刀等显微和神经外科手术器械，如精细镊（fine tip）；大量的玻璃皿或一次性无毒塑料用品等；有各种规格的培养皿、培养瓶、离心管、吸管、烧杯、量筒、针筒、盐水瓶、容量瓶、玻片、盖片、表面玻片、玻棒、漏斗、匀浆器、酒精灯、培养板等。

3. 清洗消毒灭菌 在神经培养工作中几乎所有的器皿和工具都要进行清洗和消毒，除常规的清洗、消毒方法和要求外，还可采用1%～5% HCl 液过夜、2% NaOH 液煮沸 10～20 分钟，清洁液浸泡（浓硫酸 120g，重铬酸钾 200ml，蒸馏水 1000ml）。140℃～160℃电热消毒箱（dry heat electric sterilization）干热消毒，高压蒸汽灭菌锅（autoclave），紫外线消毒，微波炉消毒，消毒剂抗生素（来苏水、酒精、过氧乙酸、洁尔灭或碘伏等），蔡氏（Zeiss）滤器、微孔滤膜滤器（millipore，0.22μm 和 0.24μm）。

4. 培养液准备

（1）*水* 采用双蒸水、三蒸水、纯水。

（2）*平衡盐液*（balanced salt solution，BSS） 主要由无机盐和葡萄糖组成，主要的平衡液有 Ringer、PBS、Tyrode's（台氏）、Eagle、Hank's、Dulbecco's、D－Hank's 液。哺乳动物的神经培养大多用 Tyrode's 或 Hank's 、BSS。

（3）*鸡胚浸出液*（chicken embryo extract，CEE） 是一种较好的天然培养基。

（4）*血清*（serum） 小牛、胎牛、马、兔、人、人胎盘脐带血清等。

（5）*合成培养液*（synthetic medium） 常见的合成培养液有 199 培养液、Eagle 培养液（MEM）、Dulbecco MEM（DMEM）、RPMI 1640 培养液、Ham 培养液或 F12 培养液。

实验培养中多采用天然培养液（如血清）与合成培养液混合使用。

（6）*无血清培养液* 包括培养液及附加成分。在合成培养液中加入培养基质，如纤维连接蛋白（fibronectin）和多聚氨酸（poly－lysin），营养因子如转铁蛋白、神经生长因子（NGF）、成纤维细胞生长因子（FGF）、表皮生长因子（EGF）等，以及酶抑制剂，如大豆酶抑制剂（soybean trypsin inhibitor），依各实验室具体要求配制。

（三）神经培养实验的基本操作程序

1. 新鲜组织取材 材料必须新鲜，在无菌条件下操作，解剖位置清楚，取材正确，手法熟练，动作轻柔，切忌损伤组织或使组织干燥。在整个取材过程中要保持组织的湿润（滴加 BSS）。

2. 加培养液 一般培养液是血清加合成培养液，必须事先配制好。若使用全培养液，则成分复杂一点，更应事先配制好。一般神经培养在加培养液后，放入孵育箱内要 24 小时以后才能移动，以保证细胞的贴壁。

3. 更换培养液 为保证培养的组织或细胞是"活"的，并在 37℃生活，必然有新陈代谢活动。因此，需要经常地补充营养及清除代谢中的废物。

4. 观察检查 对培养标本的观察检查，一般通过肉眼检查及倒置显微镜下检查及摄影记录。

培养研究通常设对照组及实验组（包括不同药物浓度的筛选），因为培养天数及形态上的变化对比是十分重要的。培养标本固定可作神经染色、免疫组织化、原位杂交和 PCR 等

分子生物学检测或生化检测。在形态学上还包括荧光、激光共聚焦显微镜、电镜（透射和扫描电镜）、流式细胞仪和放射自显影等的检测手段。

（四）神经培养常用的方法

神经培养的方式方法一般依培养的组织部位或细胞而定，如大脑皮质、小脑、海马、脊髓、背根神经节等的培养，或进一步对某一类细胞的纯化培养，如星形胶质细胞、少突胶质细胞、Schwann 细胞、交感神经节细胞、神经干细胞等培养。可分为以下两类。

1. 器官-组织型培养（organotypical culture，organized culture） 即取材于器官-组织的一部分。通常以薄片形式，其厚度不超过 1mm。

2. 细胞分散培养（cell dissociated culture） 将神经组织块用机械或酶消化等方法使之分散成单细胞悬液，然后接种培养。细胞分散通常采用：

（1）机械法 可通过注射器针头挤压组织通过不锈钢网或尼龙网筛以获得分散的细胞，本法简便易行，但细胞分散不完全，易产生细胞机械性损伤。

（2）酶消化法 应用蛋白水解酶，如胰蛋白酶（trypsin）、胶原酶（collagenase）使细胞间的连接解体，最后成为细胞悬液。本法细胞分散较完全，但操作较繁复杂。

（3）化学消化法 加络合剂，如 EDTA（ethylenediaminotetraacetic acid，乙二胺四乙酸），从组织生存环境中吸收二价阳离子并与之形成螯合物，促使细胞相互分散。

3. 神经元或胶质细胞的纯培养

（1）纯神经元培养 用细胞分裂抑制剂如阿糖胞苷或 5-氟尿嘧啶等药物来抑制生长分裂较快的胶质细胞，对神经元影响不大，从而获得神经元的培养。

（2）纯胶质细胞培养 根据不同的胶质细胞，所使用不同的培养技术。在神经组织培养液中，神经元不再分裂，在培养传代过程中自然消亡。而胶质细胞则可以形成传代的二倍体细胞系，继续生存。

一般将新生大鼠大脑皮质组织通过酶和机械性分离，制备混合的大脑神经胶质细胞悬液，用尼龙网过滤去除未分散的组织块，然后将细胞悬液种入细胞培养瓶。这些混合的细胞由多边形的Ⅰ型星形胶质细胞和生长在这些细胞上具有突起（process-bearing，PB）的细胞组成，当混合培养中的Ⅰ型星形胶质细胞长满之后，将培养瓶置于轨迹摇床上以 260rmp 的速度振荡 12~18 小时。通过振荡使 PB 细胞与下层的细胞脱离，留下主要富含Ⅰ型星形胶质细胞的贴壁细胞群，根据各种细胞不同的黏附能力并结合某些培养条件的选用，能够分离出Ⅰ型星形胶质细胞、小胶质细胞、O-2A 前体细胞、少突胶质细胞和大脑Ⅱ型星形胶质细胞，分别进行培养和研究。

主要参考书

1. 曾小鲁．神经解剖学基础．北京：高等教育出版社．1994.
2. 朱长庚．神经解剖学．北京：人民卫生出版社．2002.
3. 张朝佑．人体解剖学．北京：人民卫生出版社．1998.
4. 邱树华．正常人体解剖学．上海：上海科学技术出版社．1993.
5. 严振国．正常人体解剖学．上海：上海科学技术出版社．1998.
6. 韩济生．神经科学纲要．北京：医科大学中国协和医科大学联合出版社．1993.
7. 朱长庚．神经免疫细胞化学．北京：科学出版社．1990.
8. 柏树令．系统解剖学．第7版．北京：人民卫生出版社．2009.
9. 李继硕．神经解剖学．西安：第四军医大学出版．1992.
10. 邹仲之．组织学与胚胎学．北京：人民卫生出版社．2002.
11. 高英茂．组织学与胚胎学．北京：人民卫生出版社．2001.
12. 章中春等．临床神经解剖学．哈尔滨：黑龙江人民出版社．1979.
13. 芮德源，陈立杰．临床神经解剖学．北京：人民卫生出版社．2007.

附录 名词术语英汉对照

A

B

C

D

E

F

G

H

I

L

M

N

O

P

R

S

T

U

V

W

Z